

TEC | Tecnológico de Costa Rica

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

*Diseño de planta de lavado por hidrociclón para el área secundaria del
Quebrador Ochomogo Ltda.*



**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniera en
Mantenimiento Industrial, Grado de Licenciatura**

REALIZADO POR:
Milena Andrea Manosalva Serrano

II SEMESTRE 2018



Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board
Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 12/11/2018

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Milena Andrea Manosalva Serrano
carné No. 200856534, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado
de Licenciatura, en la carrera de ingeniería en Mantenimiento Industrial
, presentado en la fecha 14/11/2018, con el título
Diseño de planta de lavado por hidrociclón para el área secundaria del Quebrador Ochomogo Ltda.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:  _____

Correo electrónico: milemanosalva@gmail.com

Cédula No.: 117000958524

Información del estudiante y la empresa

Información del estudiante:

Nombre: Milena Andrea Manosalva Serrano

Cédula: 117000958527

Carné: 200856534

Edad: 27

Número de teléfono: 83317953

Correo: milemanosalva@gmail.com

Dirección: Frente al Colegio Miravalles, Residencial Los Mirlos primera entrada a mano derecha, casa portón blanco, pared terracota.

Información de la empresa

Nombre: Quebrador Ochomogo Ltda.

Actividad Principal: Extracción de agregados para la construcción.

Dirección: 1,5 km al norte del Colegio Seráfico, carretera a Llano Grande, Cartago.

Asesor industrial: Ing. Henry Ureña (gerente de operaciones)

Teléfono: 2537 1000

Dedicatoria

Dedicada a todas las personas que me apoyaron para concretar mis estudios, en especial a mi mamá, que siempre me apoyó y dio la oportunidad de estudiar y llegar a ser una profesional.

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a la empresa Quebradores Ochomogo Ltda. por darme la oportunidad de desarrollar mi práctica profesional en su empresa. Además, quiero agradecer al personal que me ha compartido sus conocimientos, en especial al ingeniero Henry Ureña.

También, quiero agradecer a mis compañeros de estudio; José Méndez, Esteban Blanco, Brayan Mena y en especial a David Solís Martínez.

Resumen

Este proyecto se desarrollará en Quebrador Ochomogo Ltda, ubicado carretera a Llano Grande, Cartago. La empresa produce agregados para la construcción, enfocándose en aumentar la competitividad, además de ofrecer un producto a la medida para determinado cliente. Se plantea el diseño de una planta de lavado por hidrociclón en la planta secundaria del quebrador.

Para el desarrollo de este proyecto, es necesario fraccionarlo en tres secciones: estructura hidrociclón, hidrociclón, tubería de transporte de finos al tanque espesador y escurridor vibrante. Cada una de estas secciones se desglosarán de manera que se complete el diseño de la planta como tal.

Para el diseño de la estructura, se toma en cuenta la facilidad con la que se puede desarrollar el mantenimiento en el hidrociclón. Dado que este se encuentra en constante desgaste, es importante estar inspeccionando las piezas para su respectivo cambio, en especial la boquilla, la cual sufre el mayor desgaste.

Adicionalmente, para el hidrociclón se seleccionan los accesorios necesarios para el adecuado funcionamiento de este. Por último, se trabaja con el escurridor: se toma uno que se encontraba en las instalaciones de Quebradores Ochomogo Ltda., el cual se restaura con el objetivo de minimizar los costos de la implementación, por lo que es fundamental aprovechar los recursos al máximo.

Palabras clave: Hidrociclón, trituración de piedra, lavado de arena, finos, *overflow*, *underflow*, escurridor vibrante.

Abstract

This project will be developed at Quebrador Ochomogo Ltda. It is located near Llano Grande, Cartago. The company produces aggregates for construction, moreover focused on increasing of their competitiveness. Also, they can offer a product who is made based to the client necessities. The crusher it's posed the design of a hydrociclón washing plant, in the second plant of the crusher.

For the development of this project it is necessary to divide in into four sections; the hydrociclón structure, hydrociclón, the pipe for the transporting of material to the thickener tank and vibrating screen. Every one of this section will be apportioned, with the objective of complete the design of the plant as a whole.

For the structure design we are considering the best way to develop the maintenance at the hydrociclón, because it suffer a constant high wearing, it is very important the frequent revision of each part of the hydrociclón, for their respective replacement; specially the replacement of the nozzle, that suffer a high wearing.

Finally, we restored an unesed vibrating screen to reduce material and implementation cost and take advantage of existing resources.

Keywords: Hydrocyclone, crushing Stone, sand wasing, fine, overflow, underflow, vibrating screen.

Contenido

Capítulo 1. Descripción de la empresa.....	14
1.1. Reseña de la empresa	14
1.2. Misión	15
1.3. Visión	15
1.4. Valores.....	15
1.4.1. Servicio.....	15
1.4.2. Desempeño	15
1.4.3. Integridad	16
1.4.4. Compromiso	16
1.5. Estructura organizacional.....	16
1.6. Proceso productivo	17
Capítulo 2. Definición del proyecto	20
2.1. Justificación del proyecto.....	20
2.2. Planteamiento del problema	20
2.3. Objetivos	20
2.3.1. Objetivo general	21
2.3.2. Objetivos específicos.....	21
Capítulo 3. Fundamentos Teóricos	22
3.1. Hidrociclón.....	22
3.1.1. Descripción.....	22
3.1.2. Construcción.....	22
3.1.3. Funcionamiento	23
3.1.4. Partes del hidrociclón	25
3.1.5. Zonas de operación de un hidrociclón	25
3.1.6. Diseño	27
Capítulo 4. Sistema de bombeo para el hidrociclón	28
4.1. Características del fluido	28
4.2. Condiciones ambientales.....	28
4.3. Determinación del caudal	29
4.4. Grupo de bombeo.....	29
4.5. Manguera de alimentación del hidrociclón	30
Capítulo 5. Hidrociclón	33
5.1. Descripción.....	33

5.2.	Especificaciones	35
5.3.	Reparto de sólidos	35
5.4.	Conocimientos prácticos	37
5.4.1.	Variaciones en el caudal de alimentación	37
5.4.2.	Boquillas	38
5.5.	Mantenimiento	38
5.6.	Instalación	39
Capítulo 6.	Estructura del hidrociclón	40
6.1.	Diseño	40
Capítulo 7.	Escurreidores vibrantes	44
7.1.	Generalidades	44
7.2.	Construcción	44
7.3.	Motores	46
7.3.1	Descripción	46
7.3.2	Instalación eléctrica	46
7.4.	Funcionamiento	47
7.5.	Instalación mecánica	48
7.6.	Mantenimiento	48
Capítulo 8.	Tubería para el transporte de finos al tanque espesador.	49
8.1.	Metodología propuesta para la selección de tubería del <i>overflow</i> a el tanque espesador	49
8.2.	Requerimientos del sistema	49
8.3.	Metodología de cálculo de tubería para el trasiego de finos al tanque espesador	50
Capítulo 10.	Conclusiones y recomendaciones	56
10.1.	Conclusiones	56
10.2.	Recomendaciones	56
Bibliografía	57
Apéndices	59
Apéndice 1.	Comparación entre bombas de lodos Warman 8x6 y ITT 6x6 ...	59
Apéndice 2.	Estructura del hidrociclón	60
Apéndice 3.	Vista auxiliar tubería de salida de finos	60
Apéndice 4.	Vista de la planta de lavado en el sistema actual.	62
Anexos	69
Anexo1.	Cotización manguera Contitech Bulcor y bridas de aluminio partidas .	69

Anexos 2. Cotización variador de frecuencia Yaskawa..... 70

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Características de la pulpa</i>	28
Tabla 2. <i>Condiciones ambientales en la zona</i>	29
Tabla 3. <i>Especificaciones manguera Contitec Blucor</i>	31
Tabla 4. <i>Partes del hidrociclón</i>	34
Tabla 5. <i>Especificaciones de operación</i>	35
Tabla 6. <i>Reparto en el hidrociclón</i>	37
Tabla 7. <i>Materiales de la estructura</i>	40
Tabla 8. <i>Propiedades acero estructural - ASTM A36</i>	42
Tabla 9. <i>Detalle de cargas</i>	42
Tabla 10. <i>Características técnicas motor vibrador Itavibras S-90</i>	46
Tabla 11. <i>Distribución de caudal en el hidrociclón</i>	50
Tabla 12. <i>Distribución de caudal máximo en el hidrociclón</i>	52
Tabla 13. <i>Presión de trabajo a lo largo de la tubería</i>	53
Tabla 14. <i>Presupuesto</i>	55

Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Estructura organizacional del Quebrador Ochomogo Ltda.	16
<i>Figura 2</i> Estructura organizacional del departamento de mantenimiento Quebrador Ochomogo Ltda.	17
<i>Figura 3.</i> Partes del hidrociclón.....	34
<i>Figura 4.</i> Esquema de reparto en el hidrociclón.	36
<i>Figura 5.</i> Instalacion eléctrica motores vibradores	47

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1.</i> Proceso planta primaria.	19
<i>Ilustración 2.</i> Proceso Planta secundaria.	19
<i>Ilustración 3.</i> Diagrama esquemático de un hidrociclón.....	23
<i>Ilustración 4.</i> Diagrama de funcionamiento de un Hidrociclón.	24
<i>Ilustración 5.</i> Diagrama de zonas de influencia de un hidrociclón.	26
<i>Ilustración 6.</i> Manguera Contitec Blucor.....	31
<i>Ilustración 7.</i> Brida partida de aluminio con acoplamiento plano	32
<i>Ilustración 8.</i> Visualización 3D Estructura hidrociclón.....	41
<i>Ilustración 9.</i> Detalle estructura hidrociclón..	41
<i>Ilustración 10.</i> Resultados análisis estático.	43
<i>Ilustración 11.</i> Escurridor antes de la reconstrucción.	45
<i>Ilustración 12.</i> Escurridor restaurado.....	45
<i>Ilustración 13.</i> Detalle de mallas.....	45
<i>Ilustración 14.</i> Distribución de caudales en el hidrociclón.....	50
<i>Ilustración 15.</i> Detalle de distribución de tubería de finos al tanque espesador....	53
<i>Ilustración 16.</i> Comparaciones bombas Warman 8x6 y ITT 6X6X15.....	59
<i>Ilustración 17.</i> Estructura del hidrociclón.	60
<i>Ilustración 18.</i> Distribución de tubería de salida de finos al tanque espesador.	61
<i>Ilustración 19.</i> Vista de ubicación de la planta de lavado en el sistema actual.	62
<i>Ilustración 20.</i> Piezas del hidrociclón GM9 Y CM7..	63
<i>Ilustración 21.</i> Piezas del hidrociclón GM1 Y GM13.....	64
<i>Ilustración 22.</i> Piezas del hidrociclón GM2 Y GM31.....	65
<i>Ilustración 23.</i> Piezas del hidrociclón GC31 Y GC32.....	66
<i>Ilustración 24.</i> Piezas del hidrociclón GC43 y Rebose..	67
<i>Ilustración 25.</i> Conjunto del hidrociclón.....	68

Capítulo 1. Descripción de la empresa

1.1. Reseña de la empresa

El Quebrador Ochomogo Ltda. es una empresa líder en el suministro agregados de calidad, ya que cuenta con la mejor tecnología de lavado y procesos automatizados con el menor consumo de energía y consistencia granulométrica dando un buen manejo para la limpieza en los productos. La empresa cuenta con más de 40 años de experiencia en la comercialización de los agregados en la provincia de Cartago (Quebrador Ochomogo LTDA, s.f.)

Originalmente, la empresa inició con el nombre de Quebrador Ochomogo S. A. Su dueño, Rigoberto Zúñiga Meoño, en noviembre de 1970, implantó la extracción de palas y bangos, con cargadores que lavaban el material en el río, el cual se zarandeaba en una criba de gravedad y separaba las piedras de la arena para ser trituradas, mientras que esta se vendía en el sitio.

Con la llegada de productos de concreto a partir de 1991, se desarrolla un plan de explotación que consistía en reducir el riesgo de desprendimientos masivos de material y crear un espacio más ancho en el cauce del río para albergar más material en caso de eventuales deslizamientos.

El 1 de noviembre de 1991, la empresa cambió de dueños y pasó a formar parte de la empresa Holcim, hasta el 30 de junio del 2012. Luego, nace la inquietud en el ingeniero Jorge Vásquez por iniciar su propio negocio y coincide lo anterior con la necesidad que se plantea Holcim para concentrar sus esfuerzos en aquellas actividades que le eran más afines a su actividad cementera y el propósito estratégico del área de agregados.

Es así como surge la posibilidad de comprar la operación de Agregados Ochomogo, la cual se hace efectiva a partir del primero de Julio del 2012. La

adquisición permitió conservar en la operación el activo más valioso: su gente, y es así como el 90 % del personal operativo decidió permanecer y contribuir con su conocimiento y experiencia en el éxito de este nuevo proyecto. Ahora, la empresa se llama Quebrador Ochomogo Limitada, lleva en labores desde el 1 de julio del 2012 hasta la fecha.

1.2. Misión

“Suministrar agregados de calidad y asegurar la limpieza del cauce del río Reventado generando un impacto social y ambiental positivo en la provincia de Cartago.”

1.3. Visión

“Ser reconocidos por nuestros clientes y grupos de relación como una empresa modelo por su servicio, clima laboral y excelencia en su desempeño operacional y ambiental.”

1.4. Valores

1.4.1. Servicio

Practicamos día con día una actitud de colaboración, de apoyo y respeto por atender las necesidades de nuestros clientes internos y externos. Tenemos un trato cordial y respetuoso con todas las personas con las que nos relacionamos.

1.4.2. Desempeño

Buscamos la excelencia en todo lo que hacemos, usando nuestro conocimiento para optimizar el uso de los recursos y aprovechamos al máximo la tecnología. Estudiamos y analizamos los problemas en equipo,

buscando la participación de todos los colaboradores, desarrollando sus ideas y reconociendo el desempeño individual.

1.4.3. Integridad

Somos fieles a nuestros principios.

1.4.4. Compromiso

Creemos en lo que hacemos, en nuestro trabajo y estamos dispuestos a dar más porque nos nace del corazón. Trabajamos con alegría.

1.5. Estructura organizacional

El Quebrador Ochomogo Ltda. tiene una estructura organizacional encabezada por un gerente general, como se detalla en la Figura 1. El departamento de mantenimiento se encuentra dividido en dos secciones: una dedicada al mantenimiento automotriz y la otra, al mantenimiento industrial, como se representa en la Figura 2 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Es importante resaltar que la parte eléctrica es tercerizada.

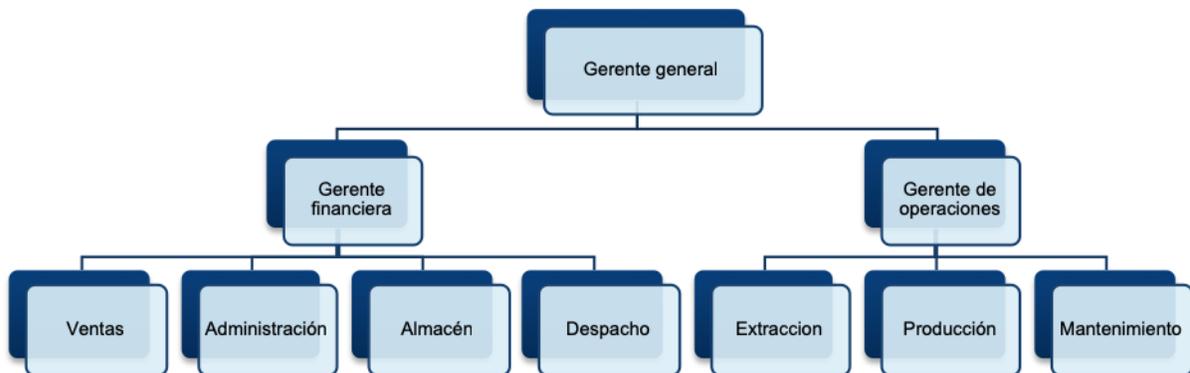


Figura 1: Estructura organizacional del Quebrador Ochomogo Ltda. Elaboración propia.

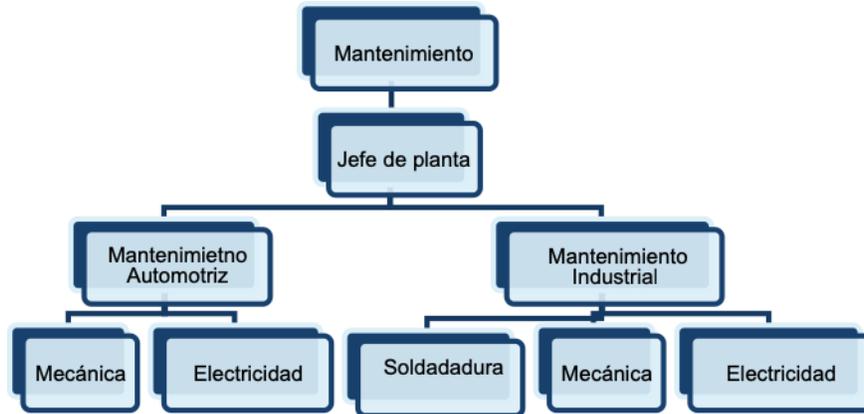


Figura 2 Estructura organizacional del departamento de mantenimiento Quebrador Ochomogo Ltda. Elaboración propia.

1.6. Proceso productivo

Quebrador Ochomogo Ltda. realiza la extracción de materiales del deslizamiento Banderilla, que se ubica aproximadamente a 2.5 kilómetros al norte de la provincia de Cartago, en el margen izquierdo del río Reventado. De aquí, básicamente, se obtiene la materia prima compuesta por una matriz arenosa con bloques de piedra de hasta cinco metros de diámetro.

El ingeniero Rizo Gómez describe el proceso de producción en Quebrador Ochomogo Ltda. de la siguiente manera: los pedazos de roca se recogen con la excavadora y cargadores que depositan el material en vagonetas para su transporte a la planta de procesamiento. Posteriormente, en la planta de procesamiento, se realiza una clasificación preliminar de las partículas por tamaño para mejorar la eficiencia del proceso de trituración o para crear productos específicos.

El material es trasladado cerca de la planta primaria en vagonetas. El proceso se desarrolla como se detalla en la Ilustración 1; en el receptor de la materia prima existe un semáforo, el cual es controlado por el operador en cabina de la planta primaria, para indicar cuándo se puede descargar el

material, ya sea desde el cargador o desde la vagoneta. Seguidamente el material pasa por la trituradora de mandíbula, donde también se cuenta con un martillo para ayudar a partir piedras grandes. El material triturado en esta etapa es transportado por una banda hacia el tambor lavador, donde se separa el material arenoso de las arcillas y se lavan las piedras trituradas. Posteriormente, en la criba, se realiza una separación por tamaños; las piedras obtenidas de la trituración pasan en una banda hacia una pila para alimentar la plata secundaria.

Cuando se coloca una zaranda al final de esta banda, la piedra de mayor tamaño es apartada como gavión, otro producto para la venta, y lo demás cae a la pila de la alimentación de la planta secundaria, donde será procesado mediante un triturador de impacto y clasificado nuevamente mediante zarandas para obtener diferentes productos.

El agua utilizada en los procesos tanto de la planta primaria como de la secundaria es reciclada trasladándola hacia un tanque espesador, donde se eliminan los residuos de lodos del agua. Para ello, se utiliza una mezcla de floculante, lo cual ayuda a que el lodo se precipite en el fondo del tanque, donde cada determinado tiempo se saca.

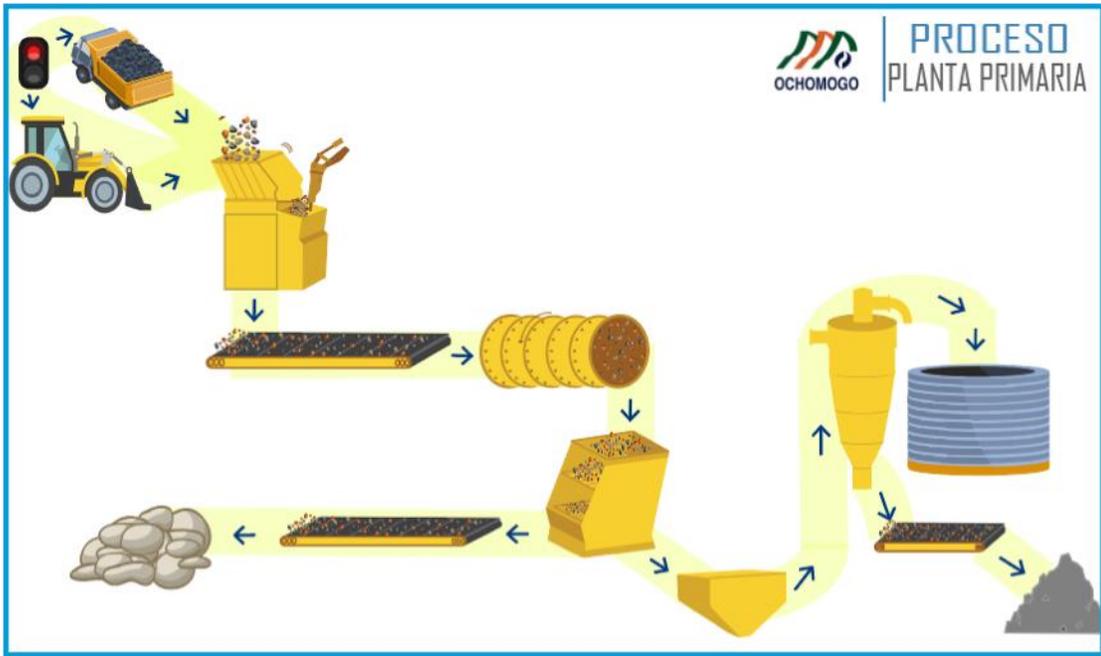


Ilustración 1. Proceso planta primaria. Elaboración propia.

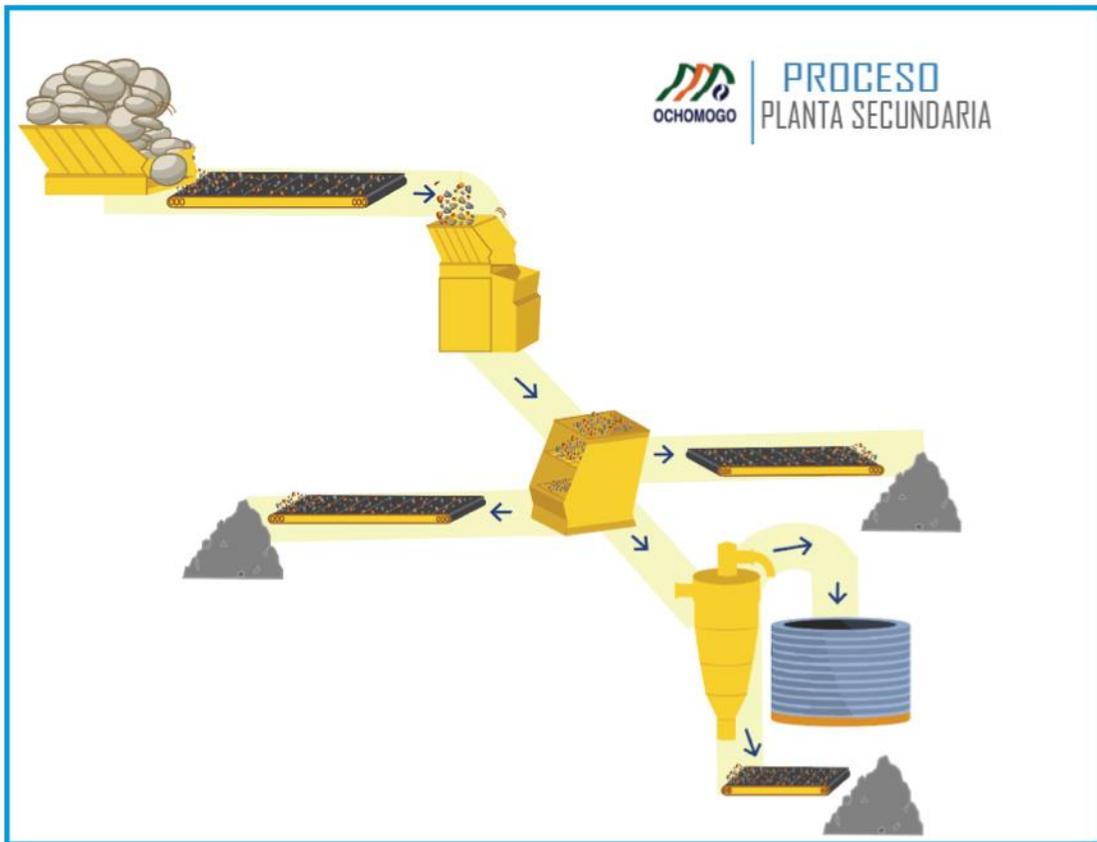


Ilustración 2. Proceso Planta secundaria. Elaboración propia.

Capítulo 2. Definición del proyecto

2.1. Justificación del proyecto

Quebrador Ochomogo Ltda., enfocándose en ofrecer productos de calidad, se plantea una segunda planta de lavado como respuesta a una necesidad que se ha venido presentado para ofrecer producto a la medida de un cliente específico: en este caso, a la empresa Productos de Concreto.

Productos de Concreto compra arena industrial en Guápiles, lo que aumenta el costo del bloque que ellos producen. Si Quebrador Ochomogo Ltda. pudiera ofrecer el producto que ellos necesitan, el costo de la producción del bloque disminuiría, lo cual, a su vez, aumentaría las ganancias para Productos de Concreto o, en determinado caso, bajaría el precio del bloque.

Se plantea el uso de un hidrociclón teniendo en cuenta las ventajas de este, debido a que separa las partículas de acuerdo con la densidad de estas. Además, tiene ventajas debido a que no cuenta con partes móviles, su mantenimiento es fácil y su operación es simple.

2.2. Planteamiento del problema

¿Se requiere una planta de lavado en la planta secundaria de Quebrador Ochomogo Ltda. para ofrecer arena industrial a la empresa Productos de Concreto?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Diseñar la planta de lavado por hidrociclón en el área secundaria de Quebrador Ochomogo Ltda.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar las características geométricas y de funcionamiento del hidrociclón.
2. Calcular la tubería de alimentación, así como la tubería de salida de finos.
3. Seleccionar la bomba centrífuga para la planta de lavado por hidrociclón.
4. Seleccionar los equipos necesarios y accesorios para el desarrollo del proyecto.
5. Realizar un presupuesto.

Capítulo 3. Fundamentos Teóricos

3.1. Hidrociclón

3.1.1. Descripción

Los ciclones son equipos mecánicos diseñados para separar la parte sólida de la fluida en mezclas bifásicas donde una de las fases está formada por partículas sólidas. Si la fase fluida es un líquido, se denominan hidrociclones y si es un gas, aerociclones. (Hauke, Vidal, y Blasco, s.f).

3.1.2. Construcción

Generalmente, los componentes de los hidrociclones están fabricados por una carcasa metálica. En su interior, cuentan con un revestimiento de diferentes elastómeros, según la aplicación. Eral Chile S. A. (s.f) explica lo siguiente:

Su sistema de construcción modular permite el intercambio de piezas entre hidrociclones de diferentes tamaños y materiales constructivos. Su mantenimiento es simple, gracias a su sistema de conexión entre las diferentes partes del hidrociclón. Cada modelo de hidrociclón se fabrica en dos tipos de geometría, cónica y cilíndrica. La configuración cónica convencional se ofrece con diferentes ángulos de cono y longitudes de la sección cilíndrica.

En la Ilustración 3, se puede observar que un hidrociclón es un dispositivo de forma cilindro-cónica con una entrada, llamada alimentación, y dos salidas denominadas descarga inferior y derrame, respectivamente.

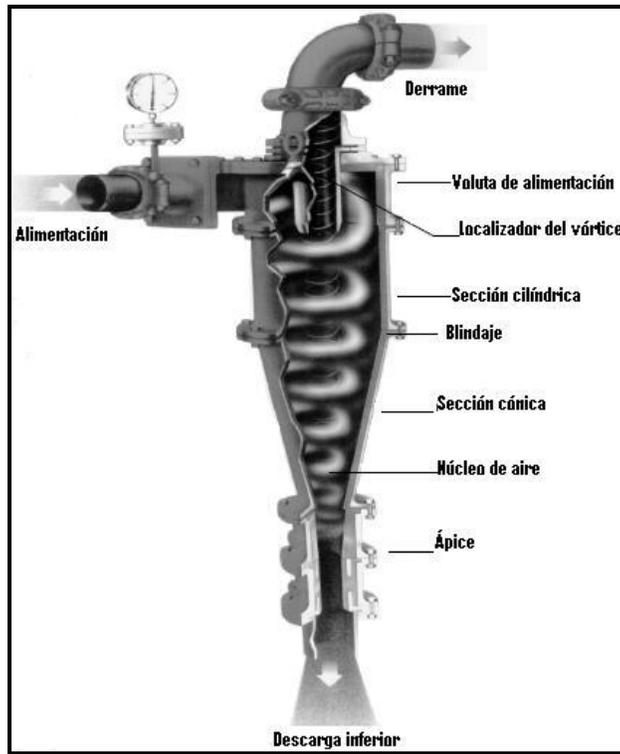


Ilustración 3. Diagrama esquemático de un hidrociclón (Reyes, 2010).

3.1.3. Funcionamiento

La función de un hidrociclón es separar los sólidos suspendidos en un flujo de pulpa. En la *Ilustración 4*, se puede observar que la pulpa entra por la sección de alimentación del hidrociclón, de forma tangencial, en un cuerpo cilíndrico a cierta presión, produciendo una rotación alrededor del eje longitudinal del hidrociclón, y formando un torbellino denominado

torbellino primario. Advance Mineral Processing S. L. realiza la siguiente explicación:

Las partículas más gruesas giran cercanas a la pared por efecto de la aceleración centrífuga, siendo evacuadas a través de la boquilla en forma de pulpa espesa. Debido a las reducidas dimensiones de dicha boquilla, solamente se descarga una parte de la suspensión, creándose en el vértice inferior un “torbellino secundario” de trayectoria ascendente, que es donde se produce la separación al generarse en este punto las mayores aceleraciones tangenciales. Esta corriente arrastra hacia el rebose las partículas finas junto con la mayor parte del líquido, que se descarga a través de un tubo central situado en el cuerpo cilíndrico superior del hidrociclón.

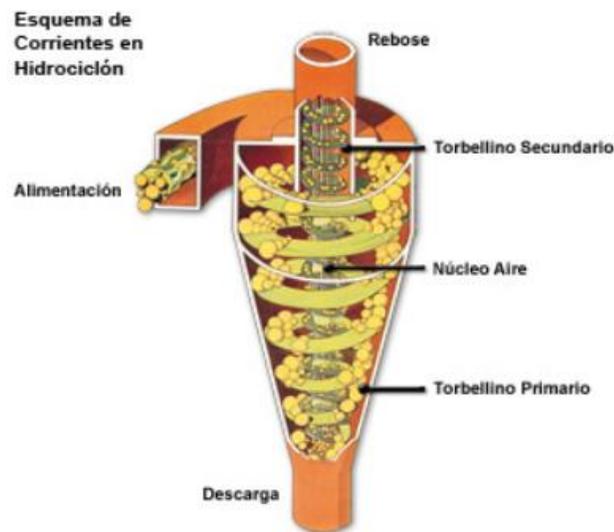


Ilustración 4. Diagrama de funcionamiento de un Hidrociclón.
(Advance Mineral Processing S. L., 2017)

Para obtener diferentes tamaños de corte, se juega con dos variables: la velocidad de alimentación y la geometría del hidrociclón.

3.1.4. Partes del hidrociclón

- a) Alimentación: en esta parte, se controlan la entrada de material y la velocidad de la mezcla. Tiene la finalidad de pre-orientar a las partículas a su punto tangencial de contacto con las paredes del cilindro.
- b) Ápice (*underflow*): Su función es descargar el material grueso, de tal forma que se obtenga su máxima densidad. Por lo tanto, debe ser del tamaño adecuado para permitir la máxima salida de material.
- c) Derrame (*overflow*): es otro elemento importante en la operación, ya que es el más crítico. Su tamaño tiene influencia en la presión para un volumen determinado y, generalmente, se tiene que entre más grande es su diámetro, mayor proporción de sólidos van al derrame; por el contrario, si el localizador del vórtice tiene un diámetro pequeño, esto significa un derrame fino con baja concentración de sólidos. Para todo tipo de mezcla, debe buscarse un balance óptimo con una dilución permitida entre el localizador del vórtice más grande y la presión más baja posible para el objetivo que se desee.
- d) Cono.

3.1.5. Zonas de operación de un hidrociclón

En la Ilustración 5, se presenta el diagrama de operación de un hidrociclón.

Reyes describe las zonas de operación de la siguiente manera:

Zona A: en ella Predomina la mezcla no clasificada en la parte estrecha adyacente a la pared cilíndrica del ciclón.

Zona B: esta zona ocupa gran parte del cono del hidrociclón y contiene una gran cantidad de partículas gruesas. La distribución del tamaño es prácticamente uniforme y es similar al producto que se obtiene en el ápice.

Zona C: en esta zona existe una gran proporción de producto fino. Está ubicada alrededor del localizador del vórtice y se extiende por debajo de la parte posterior.

Zona D: a través de esta región, la clasificación se produce radialmente; así, el tamaño de las partículas disminuye al máximo al estar más cerca del eje del hidrociclón.

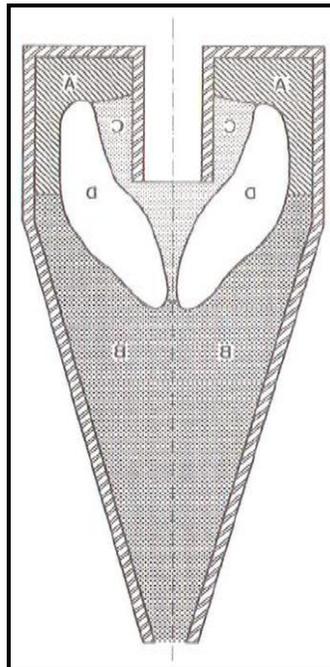


Ilustración 5. Diagrama de zonas de influencia de un hidrociclón. (Reyes, 2010)

3.1.6. Diseño

Según Etayo y Barraza (2008), las variables que usualmente se consideran en el comportamiento de un hidrociclón pueden agruparse en cuatro categorías, desde los siguientes puntos de vista:

- Desde la geometría del hidrociclón, se relacionan el diámetro del hidrociclón, el área de alimentación, el diámetro del reboso o líquido clarificado (vortex), el diámetro de descarga del concentrado (apex), la longitud del reboso, el ángulo del cono y la altura de la cámara cilíndrica.
- Desde el sólido, se relacionan la distribución de tamaño de partículas (PSD, por sus siglas en inglés) que refleja como mínimo cualquiera de los siguientes rangos: [d10, d50 y d90]; [d20, d50 y d80] o [d25, d50 y d75]; la concentración de sólidos, la densidad del sólido y densidad a granel; el contenido de lodo y la curva de lavabilidad, la cual predice la densidad de separación y, por ende, el rendimiento a obtener.
- Desde el líquido de transporte, se relacionan la densidad y la viscosidad, que junto con la concentración de sólidos permite calcular la reología de la pulpa.
- Desde lo operacional, se relacionan la presión de trabajo, el caudal a procesar, el tamaño de corte deseado y el contenido de lodo deseado a la salida de descarga del hidrociclón (apex).

Capítulo 4. Sistema de bombeo para el hidrociclón

4.1. Características del fluido

El fluido a bombear es una pulpa compuesta por una fase líquida en este caso, agua y una sólida, que es una combinación de arena con finos. Se tomó una muestra de la pulpa para caracterizarla, como se expone en la Tabla 1.

Tabla 1. *Características de la pulpa.*

Características de la pulpa	
Densidad	1,487 kg/m^3
Concentración de solidos	55%
Porcentaje de finos	4%
Densidad de líquido (agua)	1000 kg/m^3
Densidad arena lavada	2,281 kg/m^3

Los valores señalados en la **Tabla 1. Características de la pulpa** se obtuvieron a partir de mediciones en la pulpa bombeada de la planta secundaria a la primaria. la pulpa está compuesta por agua mezclada con arena y finos; la concentración de sólidos es de un 55 %, donde el 4 % es de finos y el 51% es arena.

4.2. Condiciones ambientales

La planta secundaria de Quebrador Ochomogo Ltda. se encuentra ubicada en Cartago, 1,5 km al norte del Colegio Seráfico, carretera a Llano Grande. La zona presenta las condiciones ambientales citadas en la Tabla 2.

Tabla 2. *Condiciones ambientales en la zona.*

Condiciones Ambientales	
Temperatura promedio	16 -18 °C
Presión atmosférica	1013 hPa
Humedad relativa	78 %

4.3. Determinación del caudal

Actualmente en la planta secundaria cuenta con una cuba donde se deposita la pulpa, cuando se trabaja en mojado el agua es bombeada desde la cuba, hasta un hidrociclón ubicado en la plata primaria, considerando que, lo que se desea es poner otro hidrociclón para tener diferente corte, se midió directamente de la cuba el caudal bombeado para el sistema actual, obteniendo que el caudal es de 97,70.

4.4. Grupo de bombeo

El grupo de bombeo está conformado por una cuba de alimentación de construcción metálica, una bomba centrífuga y un motor eléctrico el cual se apoya en la bomba en una bancada de soporte.

Para el sistema de bombeo, la empresa cuenta con dos bombas para lodos. Se realizan los cálculos para la selección de una de estas, evitando una inversión. Se compara una bomba Warma 8/6 y una ITT 6/6, se realizan los cálculos para determinar cuál se usará. Como resultado de la comparación entre ambas bombas, se logró determinar que, para un caudal de 430 gal/min, la bomba ITT 6x6 presenta mejores eficiencias, con un valor de 50-55 % en comparación con la Warma 8/6, con eficiencias entre el 40-50 %.

La bomba que se utilizará en este proyecto, como resultado de la comparación, será la ITT 6X6, con un motor eléctrico de 60Hp y 1770 rpm. La bomba contará con un variador de frecuencia para 60Hp, y tres fases, 380-480V de la marca YASKAWA, modelo AU2A0103FAA, con una corriente de 91A.

4.5. Manguera de alimentación del hidrociclón

Para la alimentación del hidrociclón, se plantea usar una manguera, especial con resistencia a la abrasión, de un diámetro de 8". Teniendo en cuenta que la bomba es de 6/6, se utilizará una transición cónica corta.

La manguera es de marca "Contitech Blucor", la cual es especial para la transferencia de materiales abrasivos y comúnmente usada en la minería. Esta manguera no es flexible; cuenta con un tejido sintético en espiral con hélice de alambre.

La vida útil de la manguera varía de acuerdo con el material que se transporte, por lo que el fabricante recomienda girar la manguera regularmente para un desgaste uniforme e inspeccionar el tubo en busca de degradación, antes de usarlo.

La cubierta está diseñada para adaptarse a los accesorios de bridas externas especiales con pernos, que permiten realizar conexiones rápidas y fáciles. New Line Hose & Fittings (2018) hace la siguiente observación:

Este tipo de mangueras son una alternativa conveniente al tubo revestido de caucho, ya que puede compensar expansión, contracción, desalineamiento, tiene como ventaja que su instalación es fácil, está diseñada para trabajar en la intemperie, además reduce el ruido y la vibración.



Ilustración 6. Manguera Contitec Blucor (New Line Hose & Fittings, 2018).

Tabla 3. Especificaciones manguera Contitec Blucor

Característica	Especificación
Diámetro interno	8 in
Diámetro externo	9,49 in
Rangos de temperatura	-32°C a +82 °C
Peso	14.05 lb/ft
Fabricación	Pureten negro de 3/8 (con disipación y conducción estática)
Refuerzo	Tejido sintético en espiral con hélice de alambre.
Acoplamientos	Bridas partidas con pernos

Nota: New Line Hose & Fittings, 2018.

Las uniones se realizarán con bridas partidas de aluminio de 8in (con acoplamiento plano), como la que se muestra en la Ilustración 7. Este acople se instala sobre la cubierta de la manguera, ya que los acoplamientos moldados están diseñados para evitar el desgaste del acoplamiento con productos abrasivos.



Ilustración 7. Brida partida de aluminio con acoplamiento plano (New Line Hose & Fittings, 2018).

Capítulo 5. Hidrociclón

5.1. Descripción

En el desarrollo de este proyecto, se cuenta con piezas de un hidrociclón que actualmente no se usa, el cual se encuentra desarmado. Las piezas son de carcasa metálica y fueron recubiertas con poliuretano, como protección contra el desgaste por el material que se maneja.

El hidrociclón está compuesto por una entrada tangencial, una sección cilíndrica, dos cónicas, una boquilla y un reboso, como se muestra en la Figura 3. La designación de las partes se mantiene de acuerdo con la designada por los fabricantes Eral-Chile S. A.; algunas de las piezas se hicieron nuevas, manteniendo las dimensiones de su plano original.

Como se observa, el hidrociclón básicamente está compuesto por elementos geométricos. El paso de la forma cilíndrica a cónica provoca un efecto de estrangulación en el fluido, ocasionando que la pulpa rodante se separe en dos fluidos; uno estaría compuesto por el material grueso, el cual es expulsado por el *underflow*, y otro sería el material liviano, el cual sube por la parte superior central del hidrociclón, siendo descargado por él *overflow*. El detalle de las medidas de las partes se encuentra en el Apéndice 4.

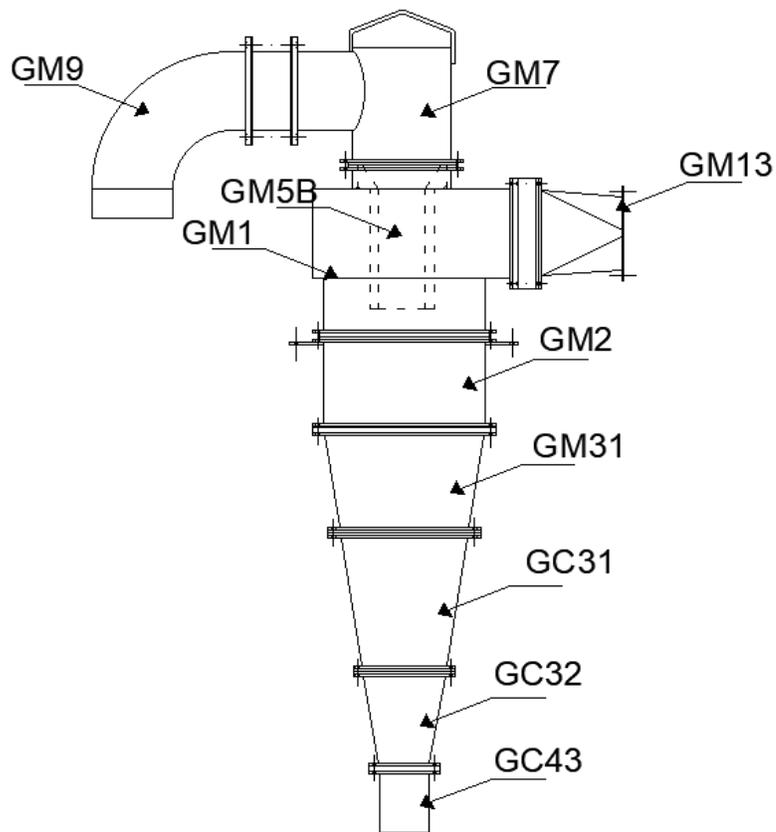


Figura 3. Partes del hidrociclón. Elaboración propia.

Tabla 4. Partes del hidrociclón

Partes	Descripción
GM9	Cuerpo de descarga del <i>overflow</i>
GM7	Cuerpo de descarga del <i>overflow</i>
GM5B	Vortex
GM1	Entrada tangencial
GM13	Alimentación del hidrociclón
GM2	Cuerpo cilíndrico
GM31	Cuerpo cónico
GC31	Cuerpo cónico
GC32	Cuerpo cónico
GC43	Boquilla

5.2. Especificaciones

Eral-Chile S. A. especifica una gama de capacidades según el recubrimiento. El hidrociclón denominado 625 será usado en el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta que el máximo caudal que este puede manejar está en el rango de $220\text{--}570\text{kg/m}^3$ y las presiones de alimentación en el rango de 0.5 -1 bar. Tomando estos rangos en cuenta, el caudal máximo estará limitado por la bomba, el cual tendrá el valor 300 kg/m^3 .

El caudal de alimentación del sistema actual es medido directamente de la cuba en el secundario. Esta medición se realizó considerando la geometría de la cuba y el tiempo en que tardaba en bajar 50 cm, obteniendo un valor de 98kg/m^3 .

Tabla 5. *Especificaciones de operación*

Caudal de alimentación sistema actual	98 kg/m^3
Presión de alimentación	0.9 Bar
Caudal Máximo de alimentación	300 kg/m^3

Para el control de la presión en la alimentación, es importante el uso de un manómetro con una caratula de tamaño considerable, con el fin de que el operador pueda leer el dato, con facilidad.

5.3. Reparto de sólidos

La función principal del hidrociclón en la planta de lavado es separar una pulpa conformada por agua arena y finos, como se observa en la Tabla 1. Donde se describe la pulpa, se observa que la concentración de sólidos es de un 55%, siendo el 4% finos y el 51% arena; estos valores fueron obtenidos a partir de muestras tomadas en el sistema actual. Existe una

serie de relaciones simples con las que se puede detallar el reparto de sólidos en el hidrociclón. Es importante señalar que, incluso en operación, resulta imposible cuantificar las masas de sólidos o distribuciones de volúmenes, por lo que el siguiente reparto de sólidos estará basado en las concentraciones obtenidas en la muestra de la pulpa que alimentará el hidrociclón.

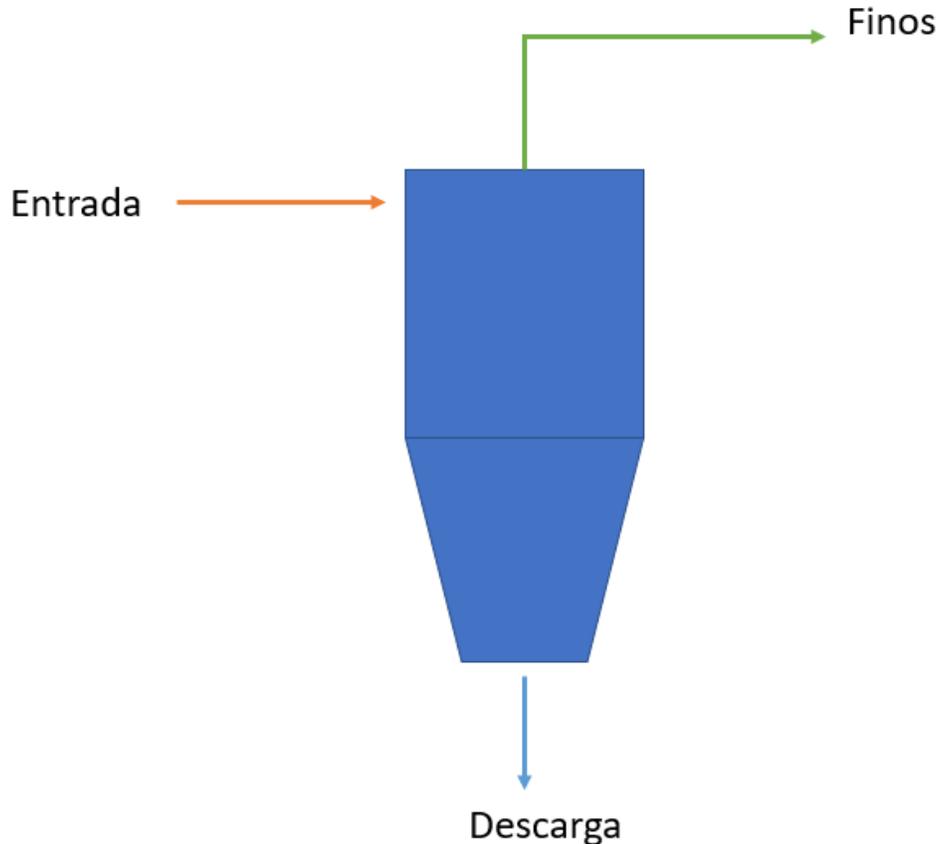


Figura 4. Esquema de reparto en el hidrociclón. Elaboración propia.

Al igual que en otros sistemas la cantidad másica volumétrica que entra debe ser igual a la que sale, por lo que en cualquier separación se pueden establecer las siguientes relaciones, basadas en concentración de sólidos en la muestra de pulpa de la entrada, teniendo en cuenta una eficiencia teórica en hidrociclón del 95%.

Tabla 6. *Reparto en el hidrociclón*

Entrada		
Flujo volumétrico de pulpa	98	kg/m^3
Concentración de sólidos	1361	g/l
Rebose		
Flujo volumétrico volumen del líquido en la corriente	53.9	kg/m^3
Concentración de finos	47	g/l
Descarga		
Flujo volumétrico pulpa	44.1	kg/m^3
Concentración de solidos	1314	g/l

Aragonés (1995) señala lo siguiente:

El líquido, por tanto, partículas "ultrafinas", que lamentablemente "se escapa" con la corriente de gruesos no es líquido claro sino líquido con una concentración similar a la corriente de rebose.

Siguiendo al autor, podemos tener contenidos de finos en la fracción de gruesos, lo cual es fácil de determinar realizando pruebas a los fluidos tomados en cada salida. Por lo tanto, es conveniente realizar una prueba sencilla para medir las concentraciones de arena en los finos. Por experiencia, en Quebradores Ochomogo Ltda. solo se admite un 5% en cada muestra realizada en los finos.

5.4. Conocimientos prácticos

5.4.1. Variaciones en el caudal de alimentación

Es importante evitar las fluctuaciones de caudal en la alimentación, dado que, a nivel práctico, ocasionan variaciones en el funcionamiento de un hidrociclón. Cuando el caudal de alimentación es regular, los

cambios en la concentración de sólidos ocasionan anomalías en la boquilla de descarga.

Para tener un control del caudal de alimentación, se usa un manómetro; si este tiene oscilaciones rápidas, es un indicador de que el caudal no es uniforme. Es importante considerar que “las variaciones en el caudal desestabilizan el torbellino secundario, esta inestabilidad temporal reduce la eficiencia y el reparto del peso del hidrociclón, lo que provoca pérdidas de partículas gruesas por el flujo superior” (Eral Chile-Hidrociclones).

5.4.2. Boquillas

La boquilla en el ápex o descarga es influyente en la separación. Si el diámetro de la descarga y la boquilla son semejantes, la trayectoria de la zona paralela causará un efecto de frenado y estrangulación excesivo. Se debe tratar de mantener una relación de diámetros donde el diámetro de la descarga sea mayor que el de la boquilla; de esta forma, el ápex absorbe el mayor desgaste.

5.5. Mantenimiento

El hidrociclón está constituido por una carcasa metálica con un recubrimiento de poliuretano. Debido al desgaste al que es expuesto, es indispensable establecer revisiones periódicamente para controlar el grado de desgaste, de manera que no afecte la carcasa metálica para reusarla mandándola a recibir.

Para el control del desgaste, es importante contar con un registro de las medidas de los diámetros internos de las piezas para determinar cuándo deben ser cambiadas y tener una idea de las horas de uso.

5.6. Instalación

La instalación del hidrociclón es sencilla: las piezas van atornilladas debido a su construcción modular y, al estar expuestas al desgaste, es recomendable tener repuestos de boquillas, siendo estas las que lo sufren en mayor grado.

Capítulo 6. Estructura del hidrociclón

6.1. Diseño

En el diseño de la torre para el hidrociclón, se tienen las siguientes consideraciones:

- La ubicación de la cuba y el escurridor.
- La ubicación del hidrociclón, de manera que se pueda acceder de manera fácil para el mantenimiento y los cambios de boquillas.
- La disponibilidad comercial de los materiales.

En la Ilustración 8, se muestra cómo quedaría la estructura en 3D propuesta para el hidrociclón; y en la Ilustración 9 se detalla la estructura, en cuya parte inferior se ubican la cuba y el escurridor.

Considerando la disponibilidad comercial, los materiales a utilizar se detallan en la Tabla 7, el material es acero al carbono estructural (ASTM A36), conocido como “hierro negro”, de calidad estructural para el uso de edificaciones atornillas y soldadas.

Tabla 7. *Materiales de la estructura*

Descripción	Cantidad
Viga canal 5" x 2"	10
Angular 3" x 3" x 3/8"	16
Lámina 1,22 x 2,44 m X 3/8"	1

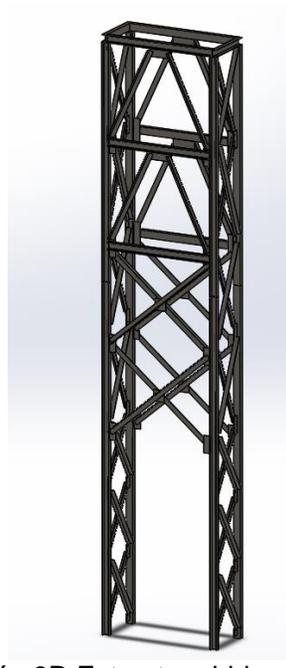


Ilustración 8. Visualización 3D Estructura hidrociclón. Elaboración propia.

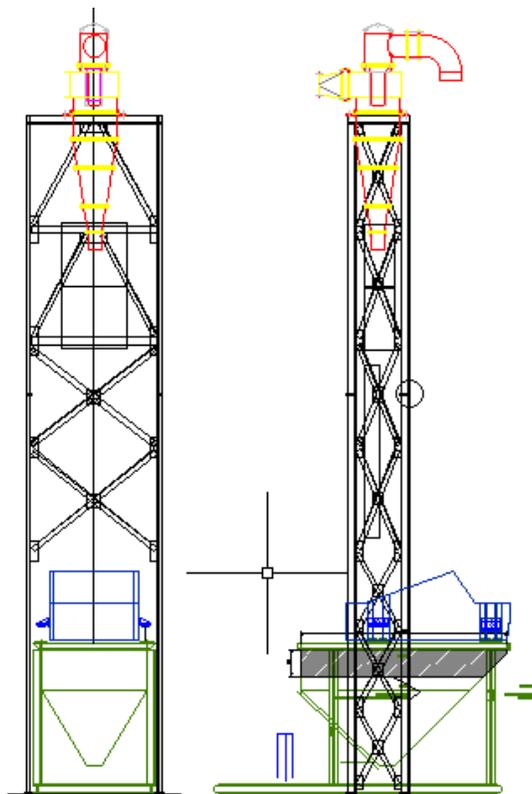


Ilustración 9. Detalle estructura hidrociclón. Elaboración propia.

A la estructura propuesta se le realiza un análisis estático con el *software* SolidWorks, teniendo en cuenta las características mecánicas del material, señaladas en la Tabla 8.

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura, pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño. (SUMITEC, s.f)

Tabla 8. *Propiedades acero estructural - ASTM A36*

Propiedades mecánicas	
Esfuerzo a la fluencia	250MPa
Esfuerzo a la tensión	400MPa
Módulo de elasticidad	200GPa
Propiedades físicas	
Densidad	7850

Nota: SUMITEC (s.f).

Para el detalle de la carga, se tienen en cuenta todas las cargas posibles externas, considerando el peso de 5 personas más el peso del hidrociclón, además del peso del fluido.

Tabla 9. *Detalle de cargas*

Detalle	Peso (N)
5 personas de 80kg	3924
Hidrociclón	4513
Pulpa	2845

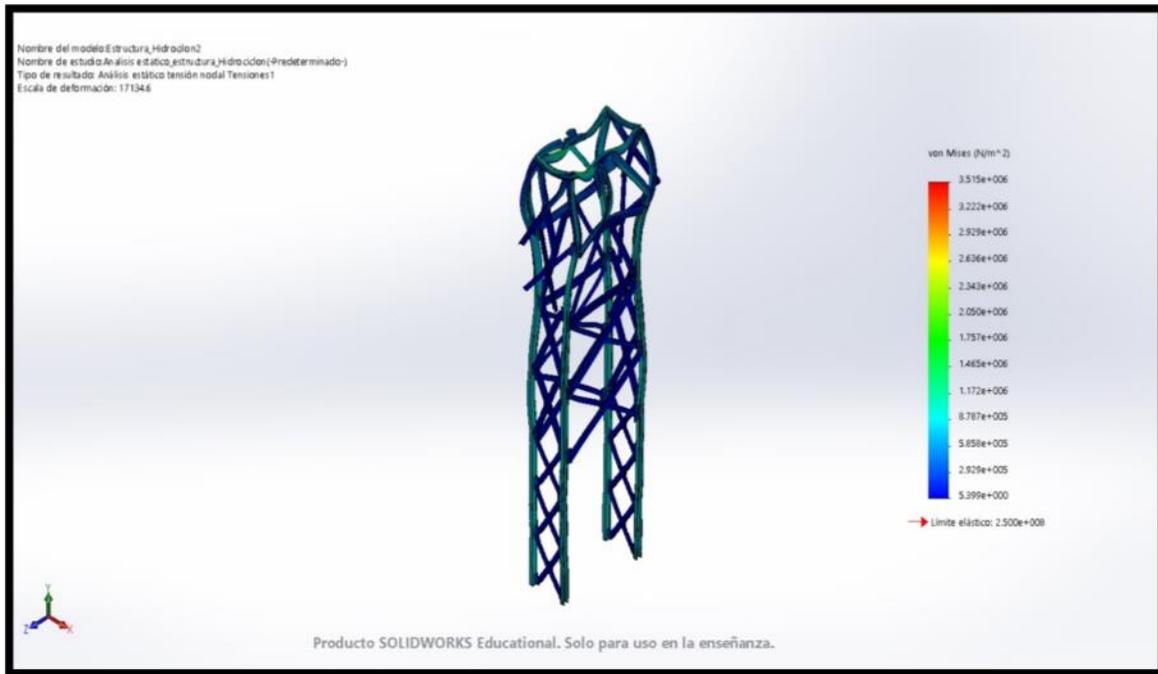


Ilustración 10. Resultados análisis estático. Elaboración propia.

Para el estudio estático, se usa la teoría de Von Mises, la cual dice que un material dúctil comienza a ceder cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión, obteniendo el máximo esfuerzo. En la escala de colores en la Ilustración 10, se observa la variación de la tensión de Von Mises.

Capítulo 7. Escurreidores vibrantes

7.1. Generalidades

El escurridor es parte importante de la planta de lavado. Se ubica sobre la cuba con un propósito, pues la función del escurridor es mantener la humedad constante en la arena, eliminando el exceso de agua.

Eral define a los escurridores Vibrantes como equipos similares a una criba convencional de alta frecuencia y baja amplitud, pero con la malla formando un fondo de ligera inclinación ascendente hacia el extremo de salida del producto.

7.2. Construcción

Un escurridor vibrante está conformado por:

- 12 mallas de polietileno 300 x 800 x 40 mm. Luz de 0.8 x 12 mm
- 4 ventanas traseras 295 x 160 x 23 mm. Luz 0.8 x 118mm
- 16 cuñas de nailon
- 24 tornillos Allen con cabezas avellanadas 5/6"x 1/2"
- 6 placas de nailon 777 x 200 x 25 mm
- Resorte Muelle 5,400 kg. Compresión externa 140 mm, longitud 9"
- 2 motores vibratorios

Las mallas de polietileno son sujetadas por presión. Ellas van encajadas en un perfil de soporte, el cual encaja con la malla, y unas cuñas sujetan las protecciones laterales. Estas placas también tienen la función de sujeción de los paneles de poliuretano.

Para este proyecto, se reutilizará el escurridor que se muestra en Ilustración 11, el cual es limpiado y armado por el personal de mantenimiento de Quebradores Ochomogo Ltda.. En la Ilustración 12 se muestra una vez armado y, en la Ilustración 13, con el detalle de las mallas puestas.



Ilustración 11. Escurreidor antes de la reconstrucción. Fotografía tomada en Quebradores Ochomogo Ltda. (2018).



Ilustración 12. Escurreidor restaurado. Fotografía tomada en Quebradores Ochomogo Ltda. (2018).

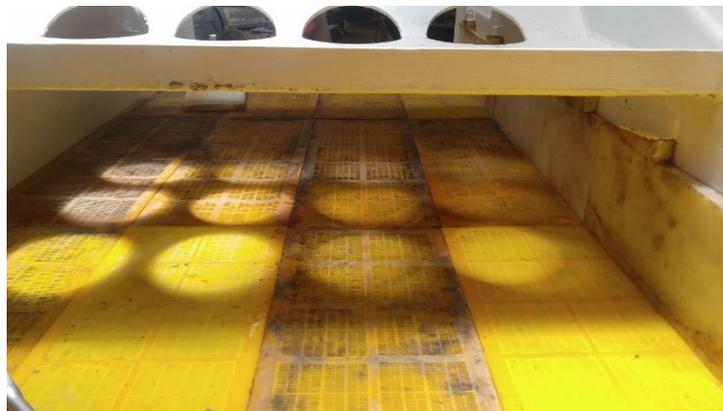


Ilustración 13. Detalle de mallas. Fotografía tomada en Quebradores Ochomogo Ltda. (2018).

7.3. Motores

7.3.1 Descripción

El escurridor vibrante está equipado con dos motores vibradores ITALVIBRAS tipo MVSI 10/6600 S-90. Estos motores cuentan con las siguientes características técnicas descritas en la Tabla 10:

Tabla 10. *Características técnicas motor vibrador Italtibras S-90*

Características Técnicas	
Clase de aislamiento	F
Protección	IP 66-7
Temperatura ambiental admitida	-30°C a +40°C
Numero de polos	6
Velocidad	1200RPM
Potencia	5900W
Corriente 460v	9.8A

Nota: Italtibra (s.f).

7.3.2 Instalación eléctrica

Los motores deberán conectarse de manera que estos giren en sentido inverso entre sí. La conexión se indica en el siguiente diagrama (Figura 5):

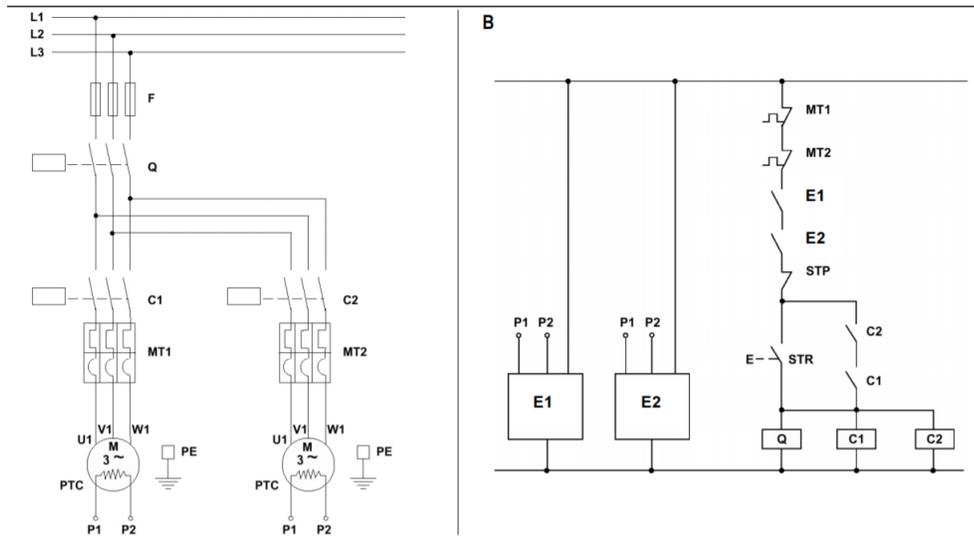


Figura 5. Instalación eléctrica motores vibradores (Italvibra, s.f).

La designación utilizada en la Figura 5 es la siguiente:

MT1= Protección motor 1

MT2= Protección motor 2

C1= Contactor motor 1

C2= Contactor motor 2

PE= Conexión de tierra

Q= Interruptor principal

F= Fusibles

PTC= Termistor

E1 -E2= Equipo de control termistor motor 1 /motor 2.

STP= Botón de parada

STR= Botón de arranque

7.4. Funcionamiento

Por efecto de vibración, las partículas sólidas contenidas en el producto avanzan hacia el extremo de la salida, mientras que el agua se filtra a través de las rejillas de las mallas de poliuretano. Por esto, u el tamaño de las rejillas es importante, pues el efecto de desaguado requerido depende de su tamaño y

material; si las rejillas son muy grandes, es posible alcanzar un alto nivel de desaguado, pero existirá una pérdida de partículas finas.

La humedad final de la arena será proporcional al tiempo de estancia en el escurridor y, por consiguiente, a la velocidad del avance.

7.5. Instalación mecánica

Por recomendación de fabricantes, el escurridor debe colocarse sobre una superficie horizontal, teniendo el cuidado de que los resortes se apoyen sobre los soportes, tal como se explica a continuación:

Los tornillos de sujeción de los soportes deben ser apretados fuertemente, una vez se allá instalado el escurridor. Además, es importante verificar todo el sistema de sujeción, en especial a los que sujetan los motores vibradores al cabezal del escurridor. (Eral-Chile,- Escurridores Vibrantes, s.f)

7.6. Mantenimiento

Para el I escurridor vibrante, el mantenimiento es mínimo; es importante revisar el estado de los muelles, además de prestar atención ante cualquier indicio de tornillos flojos.

Con respecto a las mallas, estas se deben revisar periódicamente para prevenir un desgaste anormal.

Capítulo 8. Tubería para el transporte de finos al tanque espesador.

8.1. Metodología propuesta para la selección de tubería del *overflow* a el tanque espesador

Para el diseño del sistema hidráulico, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Condiciones ambientales.
- Requerimientos del sistema.
- Caracterización del fluido.
- Calculo hidráulico preliminar.
- Selección de tubería.
- Cálculo hidráulico final.
- Verificación.

8.2. Requerimientos del sistema

Para tener un parámetro del caudal de diseño, se realizó la medida del caudal en la planta secundaria para mantener el mismo flujo de agua del sistema actual, realizando mediciones del caudal bombeado desde la cuba, bajo la bailarina, en el secundario, se determinó que el caudal es 97.70 kg/m^3 , el cual vendría siendo el caudal de alimentación para el hidrociclón.

El caudal calculado para la salida del *overflow* se realiza esperando que contenga la mayor cantidad de agua y concentración de finos. Por lo tanto, se desea que la distribución de caudal sea como se refleja en la Tabla 11.

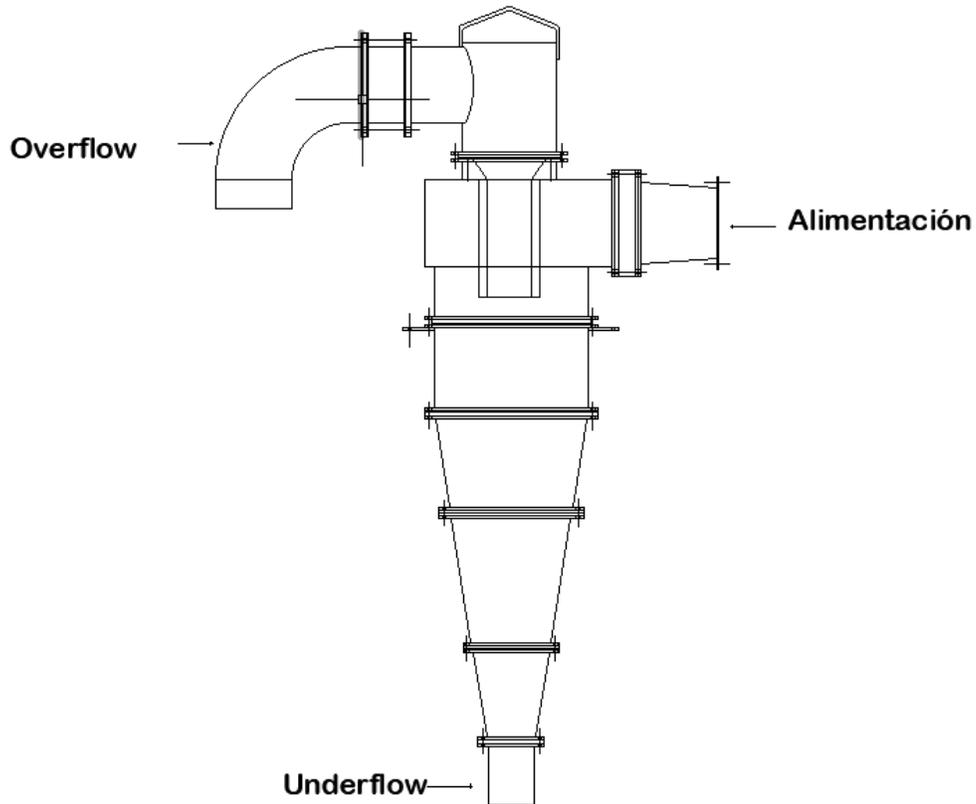


Ilustración 14. Distribución de caudales en el hidrociclón. Elaboración propia.

Para el diseño de la tubería que conducirá el caudal del *overflow* al tanque espesador, se realiza la suposición planteada en la Tabla 11.

Tabla 11. *Distribución de caudal en el hidrociclón*

Distribución de caudal	Q (kg/m^3)
Alimentación	97,7
overflow	53,735
Underflow	43,965

8.3. Metodología de cálculo de tubería para el trasiego de finos al tanque espesador

Para la selección de la tubería se toman en cuenta cinco criterios:

1. Disponibilidad comercial.
2. Precio.
3. Uso o aplicación.
4. $P_{arriete} < P_{Trabajo}$ en al menos 1 bar.
5. Esfuerzos flectores por el peso y movimiento del agua.

Para la selección de la tubería, se toma en cuenta la velocidad a la que debe viajar el fluido considerando que, para el diseño propuesto, las tuberías tendrán un grado de inclinación de 5° con respecto a la horizontal.

Con base en una prueba práctica realizada en el hidrociclón en la planta primaria para determinar la velocidad a la que se trasiega el fluido al tanque espesador, se determinó que la velocidad del fluido es de 0.8 m/s, considerando que la velocidad no puede ser muy alta, porque podría influir en un desgaste prematuro en la tubería, y que tampoco puede ser muy baja, porque ocasionaría sedimentación. Se considera que el máximo caudal de alimentación del hidrociclón estará en función de la bomba, la cual tiene como máximo un caudal de bombeo de 300 kg/m^3 .

A partir de las propiedades de la pulpa muestreada, se determina una distribución de caudal máximo planteada en la Tabla 12. **Distribución de caudal máximo en el hidrociclón**, en función de la concentración de sólidos.

Se tomará como velocidad de 1 m/s, considerando que el caudal sería de aproximadamente $165 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,046 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tabla 12. *Distribución de caudal máximo en el hidrociclón*

Distribución de caudal	Q(m ³ /h)
Alimentación	300
Overflow	165
Underflow	135

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,046m^3/s}{1m/s} = 0.046m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4xA}{\pi}} = 0.242m = 9.51in$$

Se selecciona el diámetro inmediato inferior de los que estén disponibles; en este caso sería de 9 in, pero comercialmente se consigue solo de 8 in, porque, se trabajara con un diámetro de 10in (0.254m).

Calculando la velocidad media como comprobación:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.046m^3/s}{\frac{\pi \times 0.254^2}{4} m^2} = 0.9m/s$$

De esta manera, al seleccionar una tubería de 10in, el material debería ser de hierro negro, debido a que las tuberías en PVC, con diámetros superiores a 6in, están por debajo de la presión de trabajo soportada por los accesorios SCH 40 y SCH80, lo que indica que la tubería fallaría antes de que los accesorios fallen.

Para determinar la presión de operación a la cual será transportada el fluido, se utilizará el principio de Bernoulli. La tubería presenta una inclinación, por lo que los puntos en la línea tendrán diferentes presiones de operación, generando un gradiente de presión. Tomando como punto de inicio del sistema el punto A, el cual está a una altura de 9.77 m, se realiza un equilibrio de energía a lo largo del tramo, para calcular las presiones en cada tramo. Para tenerlo en cuenta en la

selección de la tubería, se sabe que el punto de mayor presión es el punto que esté más bajo.

En el punto A, la presión por columna de pulpa se calcula con la ecuación:

$$P_A = \rho g h_1 + P_{atm}$$

A partir de la ecuación anterior, con la ecuación de balance de energía se describen las presiones en los diferentes puntos:

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A = \frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + h_i$$

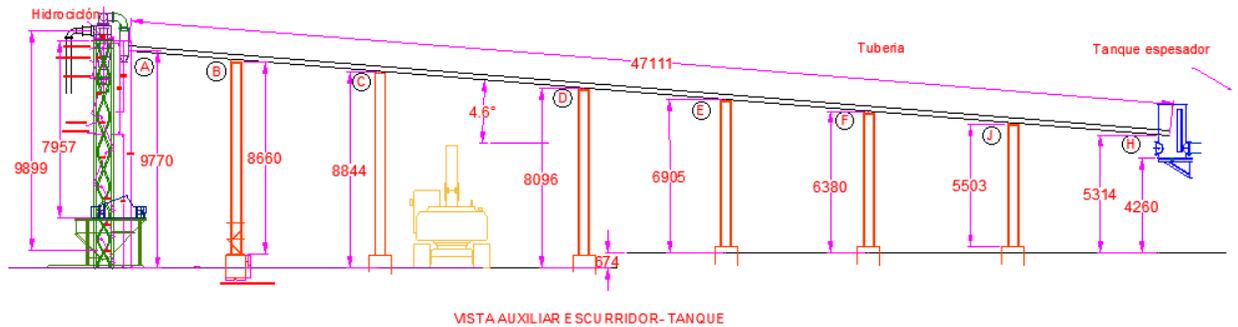


Ilustración 15. Detalle de distribución de tubería de finos al tanque espesador. Elaboración propia.

Tabla 13. Presión de trabajo a lo largo de la tubería.

Punto	L (m)	P (Pa)	psig
A	0	129388,99	18,76
B	4,853	135163,16	19,60
C	11,332	141652,47	20,54
D	20,621	142632,49	20,68
E	27,02	158405,50	22,97
F	33,485	171649,57	24,89
J	39,999	178787,81	25,93
H	47,11	192031,80	27,85

La presión en el punto más bajo es de 27,85 psig; con esta presión, se puede utilizar una tubería de acero al carbono.

Capítulo 9. Presupuesto

Para cuantificar la inversión, se realizó una serie de cotizaciones. En la medida de lo posible, se trató de contactar a proveedores nacionales; sin embargo, para la compra de la manguera, así como de la brida, se contactó un proveedor desde Vancouver, Canadá, debido a que, a nivel nacional, no se comercializa este tipo de manguera con características especiales, tales como la alta resistencia a la abrasión.

Tabla 14. Presupuesto

Detalle	Proveedor	Cantidad	Descripción	P/U	costo total
Estructura torre hidrociclón		10	Viga C 120x55x7mm x6m	¢45.125	¢451.250
		16	Angular 3x3x9,5mm x6m	¢33.550	¢536.792
		1	Lamina HN 3/8 2,44 X1,22	¢135.035	¢135.035
		Sub. Total (13% IVA)			
Tubería al tanque		8	tubo 10in Acero al carbono	¢669.186	¢5.353.488
		Sub. Total (13% IVA)			
Variador de frecuencia		1	VARIADOR YASKAWA FLUX VECTOR 112A. 75HP. 380-480V. TRABAJO PESADO. (CIMR-AU4A0139FAA)	\$ 3.990	\$ 4.508,70
Manguera de alimentación Hidrociclón		2	Manguera 8" CONTITECH BLUCOR MATERIAL HANDLING (40FT)		\$ 2.448
		4	8" ALUM BLUCOR SPLIT FLANGE MATERIAL HANDLING COUPLING	\$ 290	\$ 1.161
*Total sin envío					\$ 3.609,40
Presupuesto total					¢12.059.489

Capítulo 10. Conclusiones y recomendaciones

10.1. Conclusiones

1. Se estudiaron las características de operación de un hidrociclón.
2. Se determinaron las características de la pulpa de alimentación del hidrociclón.
3. Se calculó la tubería de los finos al tanque espesador, la cual debe de ser de 10in en acero al carbono.
4. La bomba de alimentación del sistema será la ITT 6x6x15.
5. Se establece que la inversión necesaria es de alrededor de
\$12.059.489
6. Se diseñó la estructura del hidrociclón con acero estructural.

10.2. Recomendaciones

1. Mantener la cuba a un nivel óptimo, para mantener estable la alimentación del hidrociclón y la intensidad del motor.
2. Para un control del caudal de alimentación, es importante tener un manómetro en la alimentación del caudal. Este se recomienda que cuente con una carátula de 4in para que el operario tenga facilidad de leer las presiones y ver las posibles fluctuaciones.
3. Revisar periódicamente los perfiles de sujeción en los escurridores vibrantes, así como el estado de las mallas.
4. Periódicamente, desmontar la boquilla y el cono final para revisar el estado del revestimiento.

Bibliografía

- (s.f.). (Q. O. LTDA, Productor) Recuperado el 2 de Abril de 2018, de <http://ochomogocr.com/quienes-somos>
- *Advance Mineral Processing S.L.* (2017). Recuperado el 23 de julio de 2018, de <http://www.ampmineral.com/equipos/hidrociclones.php>
- Aragonés, J. L. (abril de 1995). Recuperado el 18 de agosto de 2018
- *ERAL-Chile.* (s.f.). Recuperado el 3 de septiembre de 2018, de http://eralchile.com/downloads/Catalogo_Escurreidores_Vibrantes.pdf
- *ERAL-Chile.* (s.f.). Recuperado el 24 de agosto de 2018, de http://eralchile.com/downloads/Catalogo_hidrociclones.pdf
- Etayo, J., & Barrazo, J. (26 de Agosto de 2008). *CORRELACIONES MATEMATICAS PARA LA OBTENCION DE RENDIMIENTO DE PRODUCCION, REMOCION DE CENIZAS Y PARTICION DE AGUA USANDO UN HIDROCIKLON "SOLO AGUA"*. Recuperado el 18 de Abril de 2018, de REVISTA DYNA, Universidad Nacional de Colombia: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/9565/11492>
- Gómez, A. R. (Mayo de 2015). *Instalación y puesta en marcha de filtro prensa para el tratamiento de lodos*. Recuperado el 14 de abril de 2018, de RepositorioTEC: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6121>
- Hauke, G., Vidal, P., & Blasco, J. (s.f.). *Centro Politécnico Superior*. Recuperado el 27 de Marzo de 2018, de <http://www.cps.unizar.es/~jblasco/hidrociclón.pdf>
- *Italvibra.* (s.f.). Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de <http://www.bertha.com/Companies/Italvibras/vibrators/MVSI%20S90%20%206poles.htm>
- Laurencio, R. B., Pérez, R. J., & Caballero, R. L. (s.f.). *Determinación de los parámetros de diseño y tecnológicos de un hidrociclón para el lavado de*

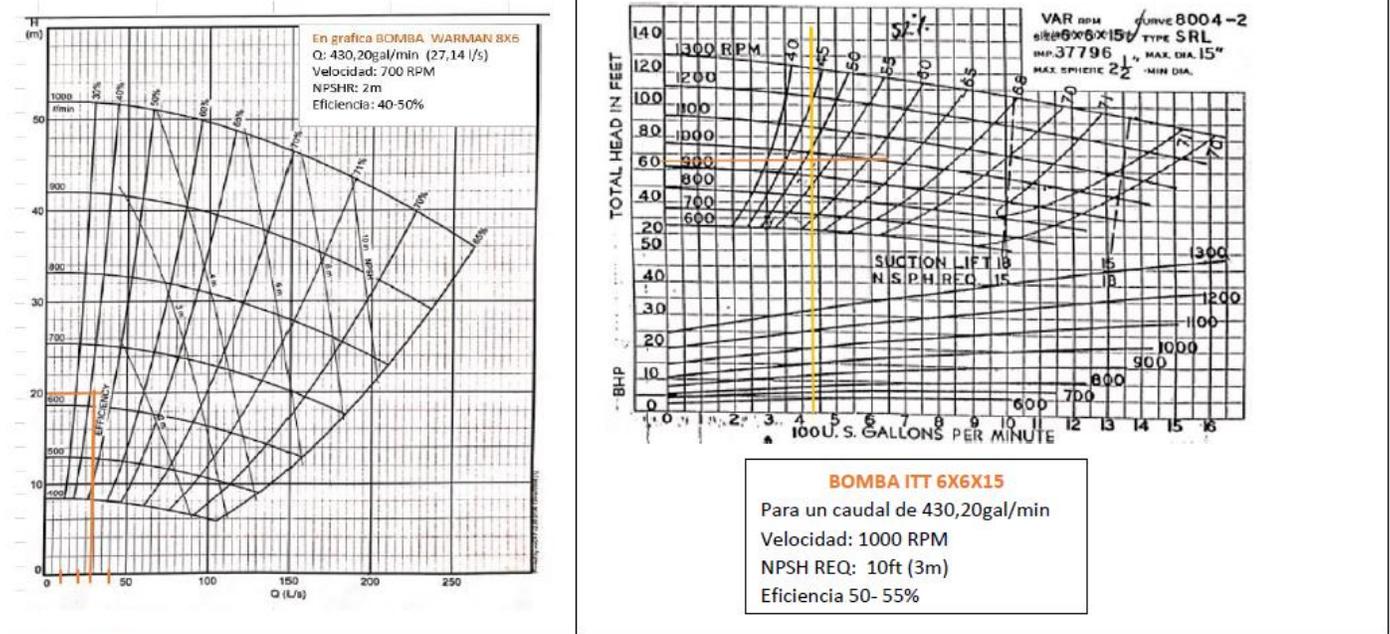
arenas en el rio Mayarí. Recuperado el 11 de abril de 2018, de CINAREM: <http://cinarem.ismm.edu.cu/ponencias/METALMATER17/Raymundo%20Betancourt%20Laurencio-Determinacion%20de%20los%20parametros....pdf>

- *New Line Hose & Fittings*. (2018). Recuperado el 3 de agosto de 2018, de <https://www.new-line.com/hose/abrasive-material-hose/rubber-vacuum-abrasive-hose/contitech-goodyear-blucor-material-handling-hose-with-38-pureten-tube>
- Reyes, E. S. (2010). *Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM*. Recuperado el 28 de Marzo de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3947/doroteoreyes.pdf?sequence=1>
- SUMITEC. (s.f.). *Suministros Tecnicos S.A*. Recuperado el 8 de agosto de 2018, de <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>

Apéndices

Apéndice 1. Comparación entre bombas de lodos Warman 8x6 y ITT 6x6

Bomba	Dato placa (A)	Consumo promedio (A)	Eficiencia (%)	*Q(gal/min)	**Costo energético	NPSHR (m)
WARMAN 8X6	122	93,5	40-50	430,2	€2.138.796	2
ITT 6X6X15	67,8	17,234	50- 55	430,2	€1.283.278	3



*El caudal estimado, fue medido en la cuba del secundario.

**El costo energético fue calculado con la tarifa de la Jasec para un periodo de operación de 4h.

Ilustración 16. Comparaciones bombas Warman 8x6 y ITT 6X6X15. Elaboración propia.

Apéndice 2. Estructura del hidrociclón

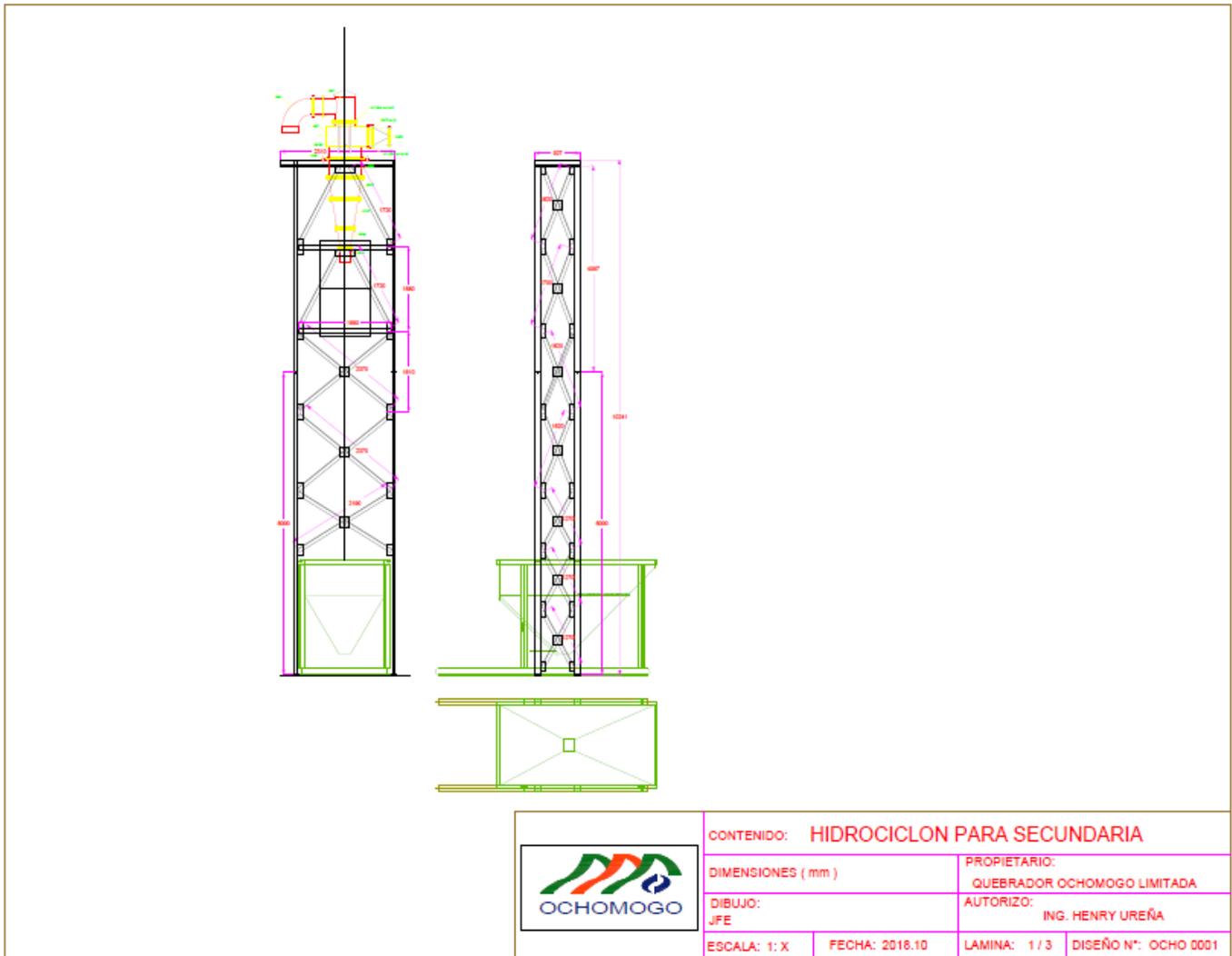


Ilustración 17. Estructura del hidrociclón. Elaboración propia.

Apéndice 3. Vista auxiliar tubería de salida de finos

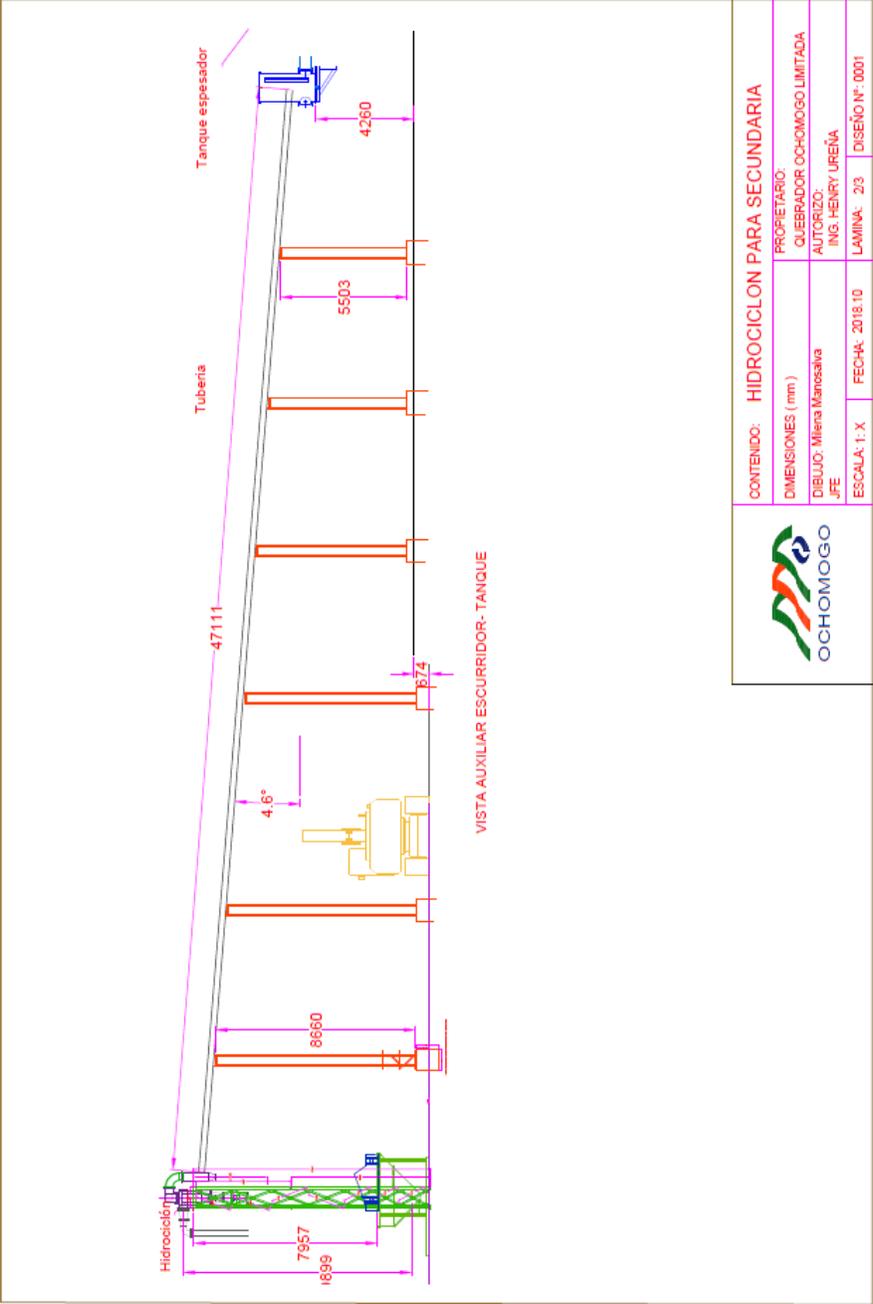
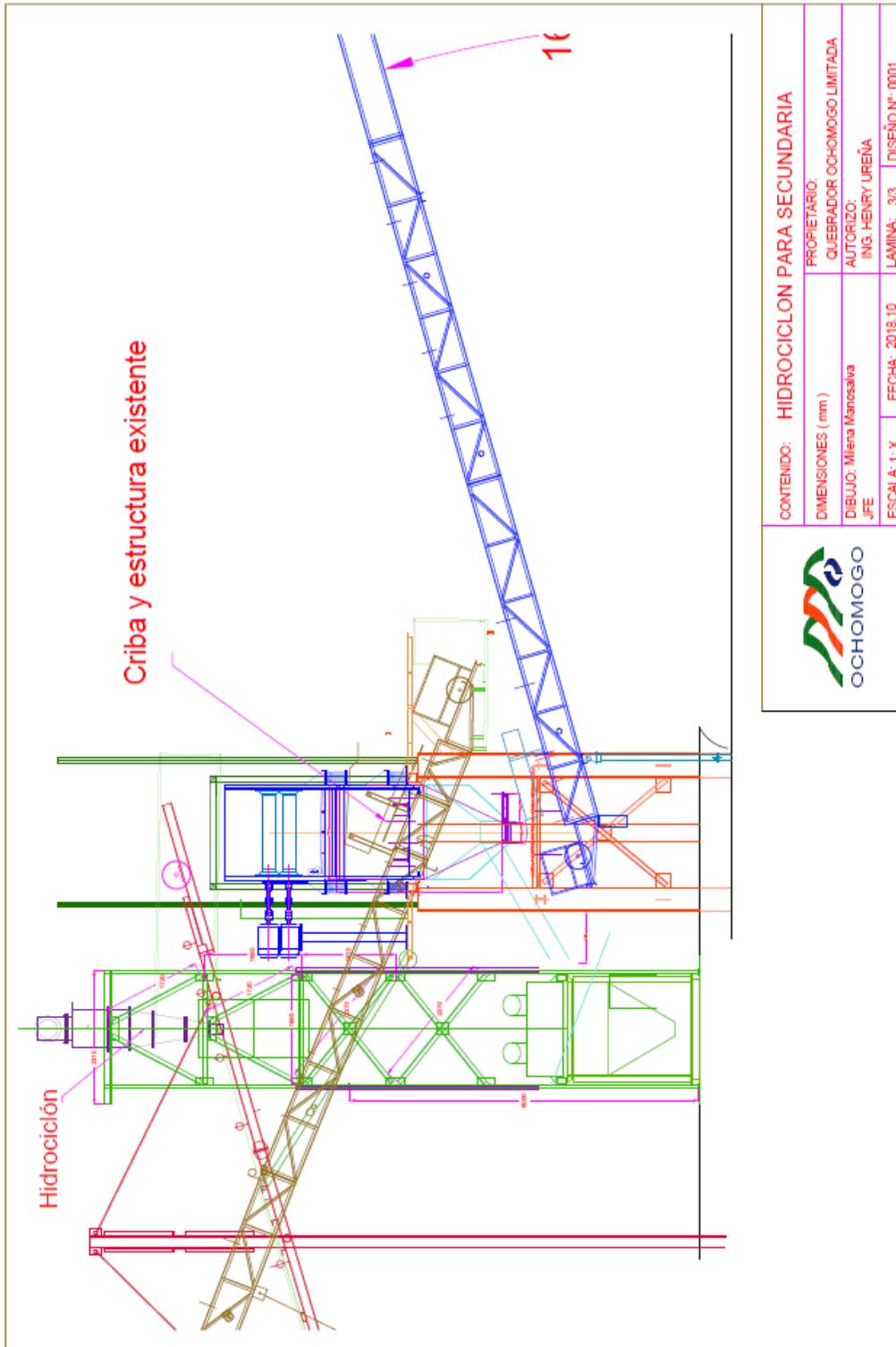


Ilustración 18. Distribución de tubería de salida de finos al tanque espesador. Elaboración propia.

Apéndice 4. Vista de la planta de lavado en el sistema actual.



CONTENIDO: HIDROCICLON PARA SECUNDARIA	
DIMENSIONES (mm)	PROPIETARIO: QUEBRADOR OCHOMOGO LIMITADA
DIBUJO: Milena Manosalva JFE	AUTORIZO: ING. HENRY UREÑA
ESCALA: 1: X	FECHA: 2018.10 LAMINA: 3/3 DISEÑO N°: 0001



Ilustración 19. Vista de ubicación de la planta de lavado en el sistema actual. Elaboración propia.

Apéndice 5. Detalle de piezas del hidrociclón

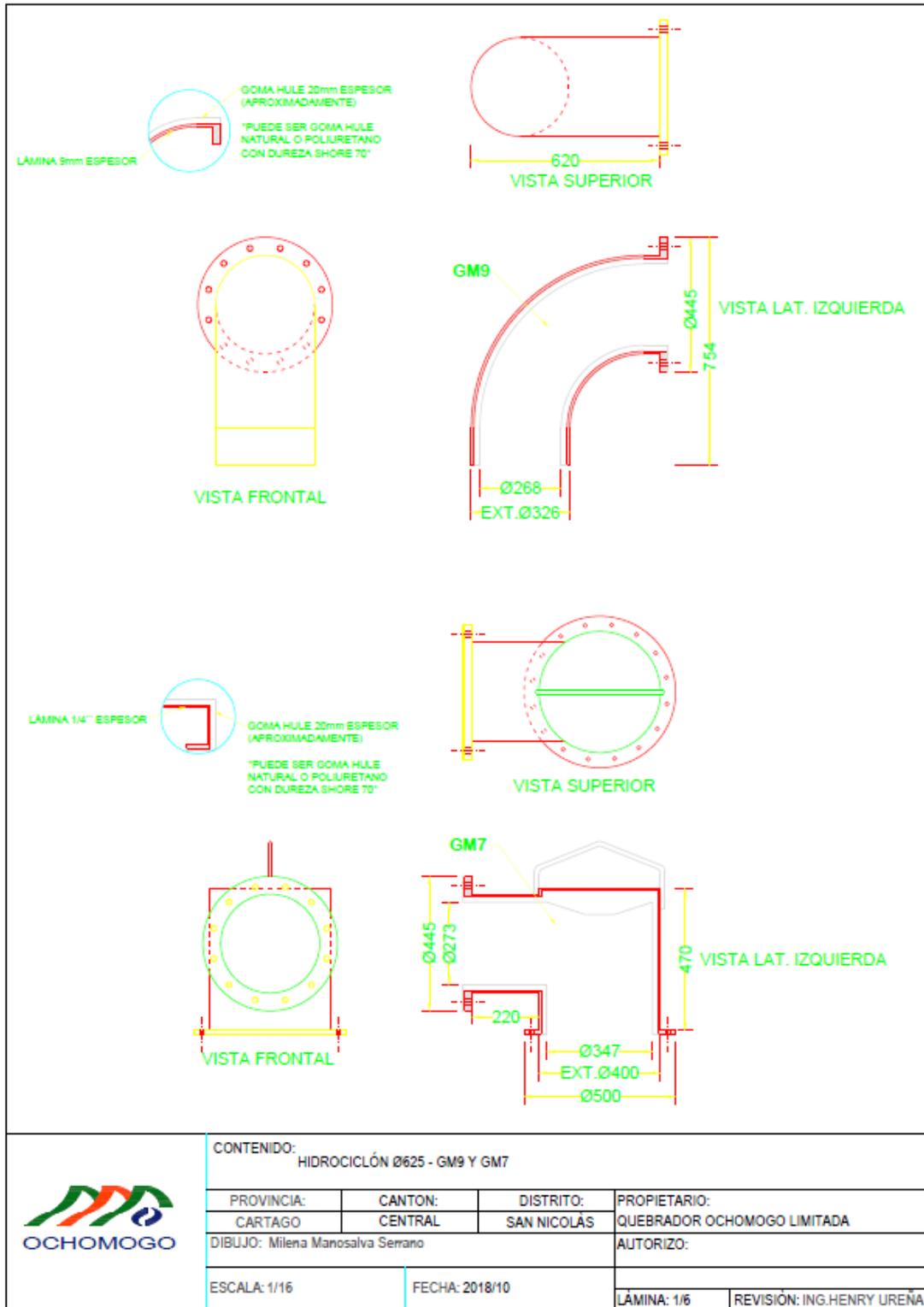


Ilustración 20. Piezas del hidrociclón GM9 Y CM7. Elaboración propia.

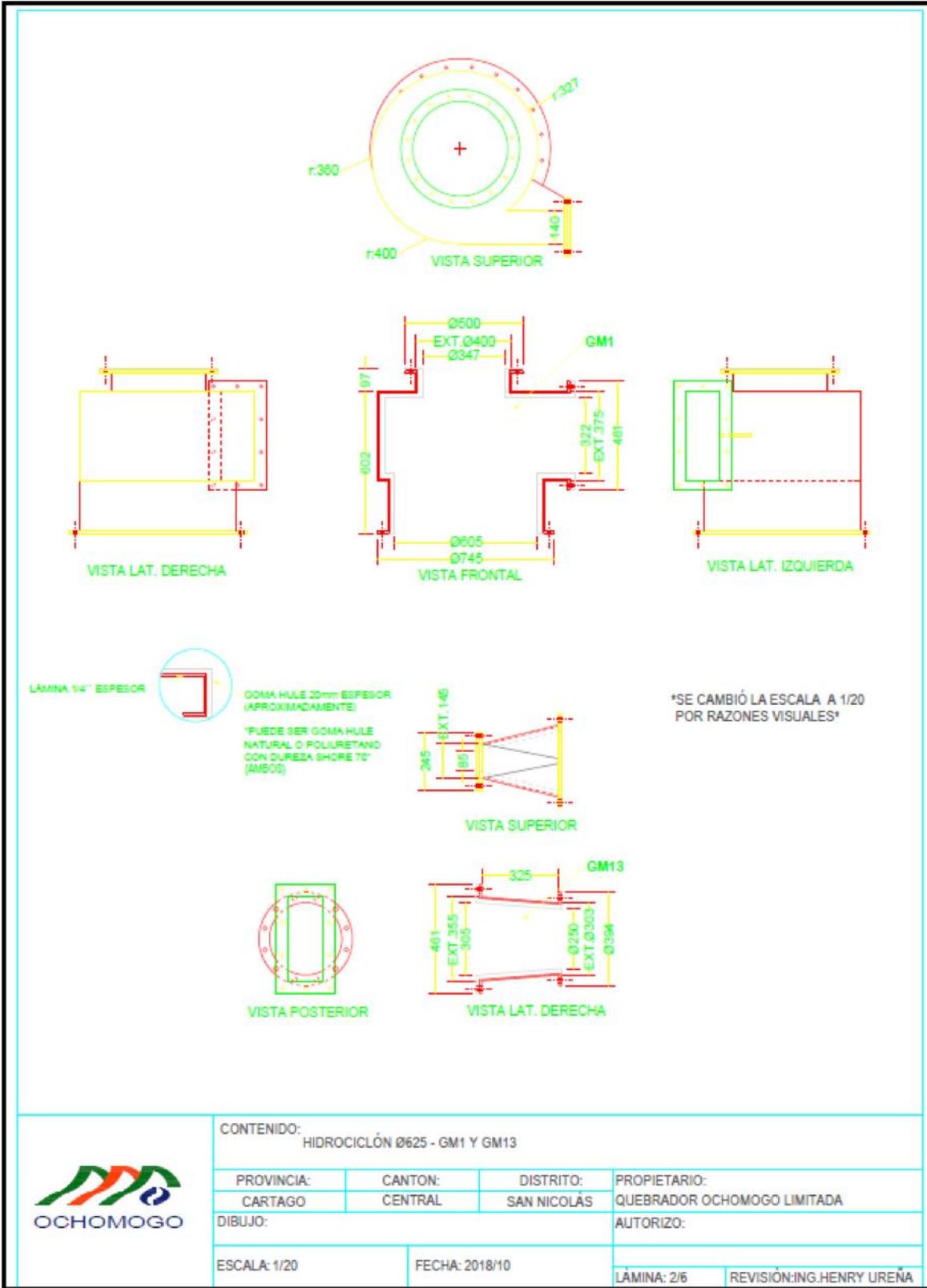


Ilustración 21. Piezas del hidrociclón GM1 Y GM13. Elaboración propia.

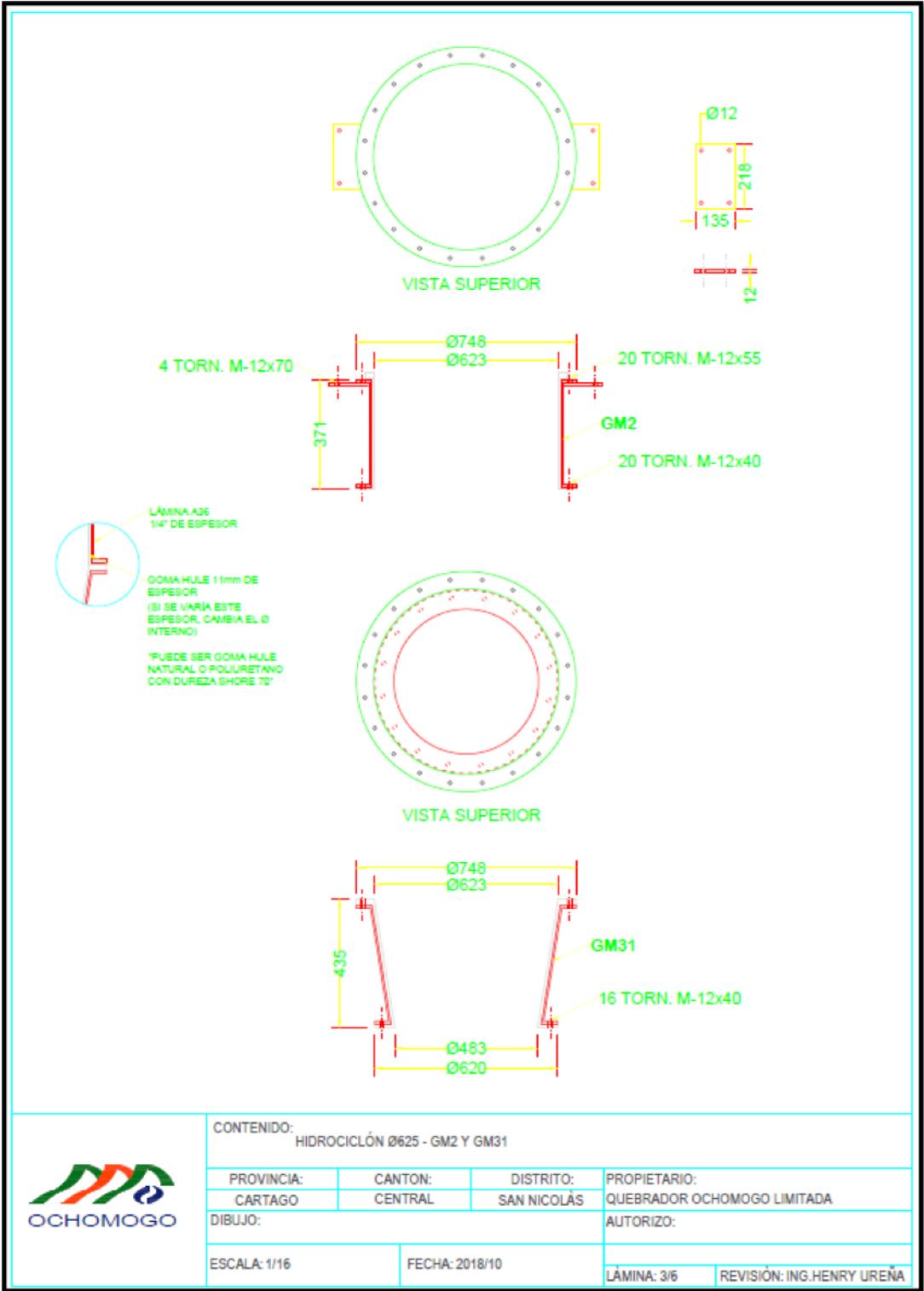


Ilustración 22. Piezas del hidrociclón GM2 Y GM31. Elaboración propia.

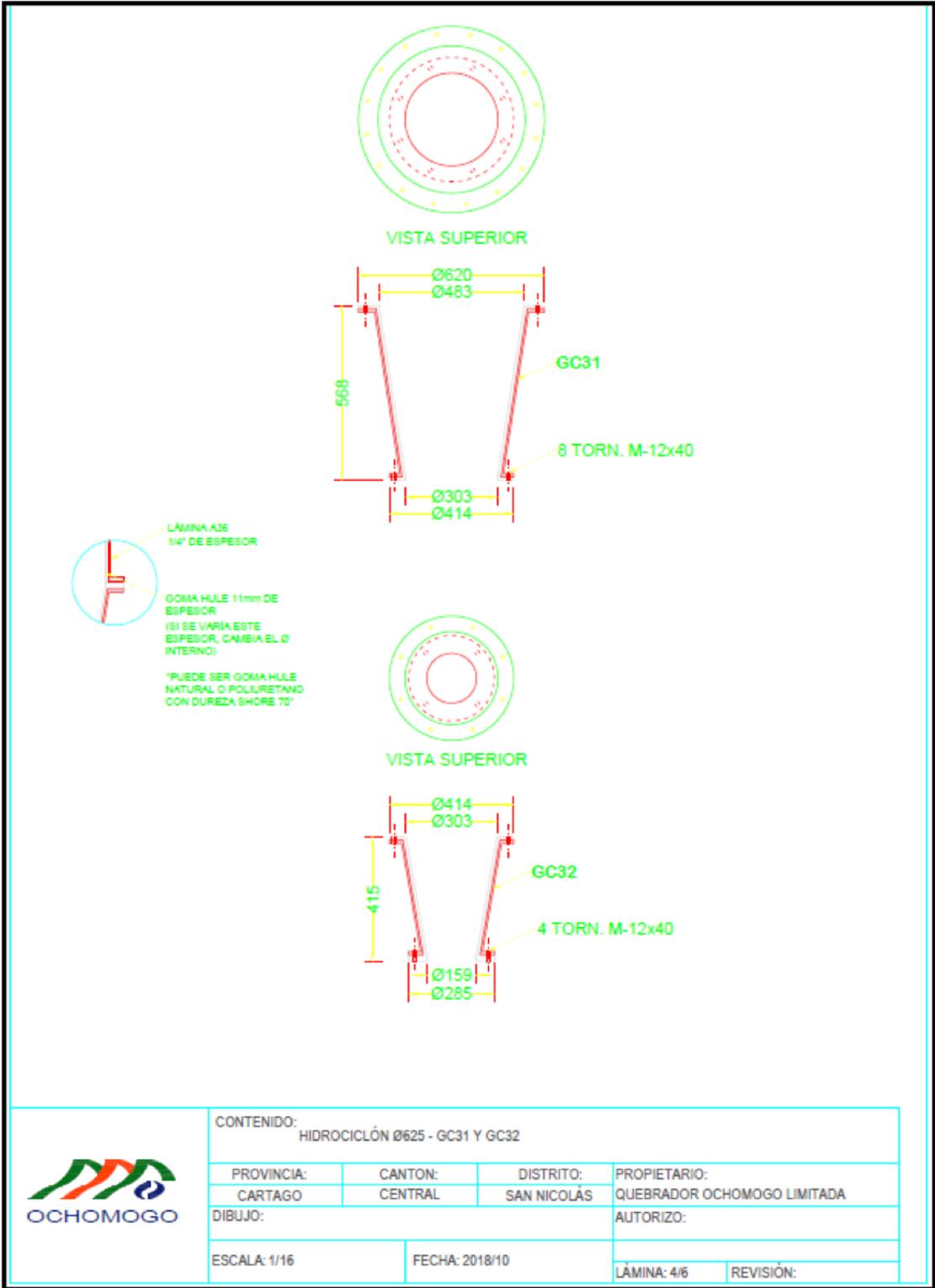


Ilustración 23. Piezas del hidrociclón GC31 Y GC32. Elaboración propia.

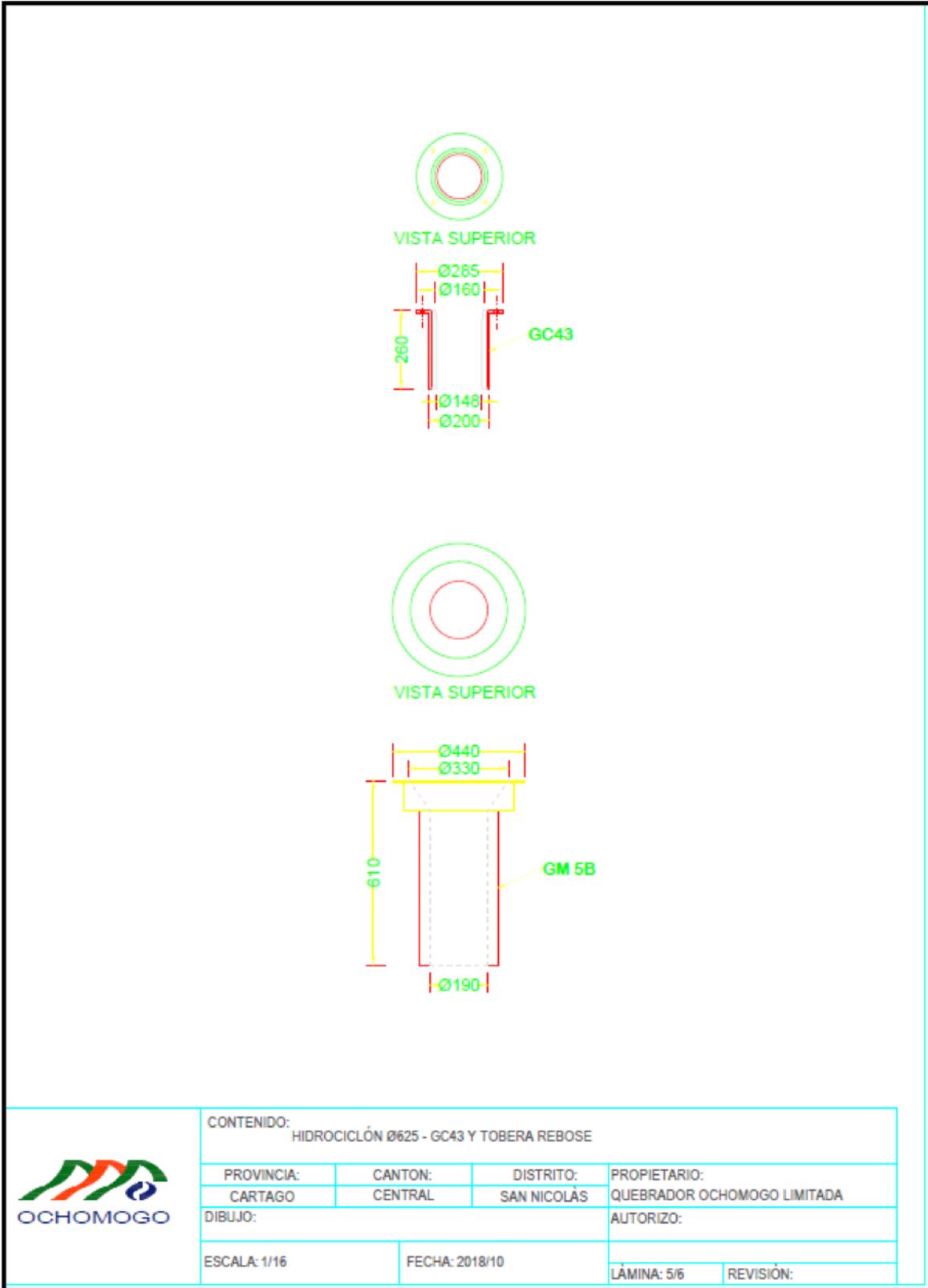


Ilustración 24. Piezas del hidrociclón GC43 y Rebose. Elaboración propia.

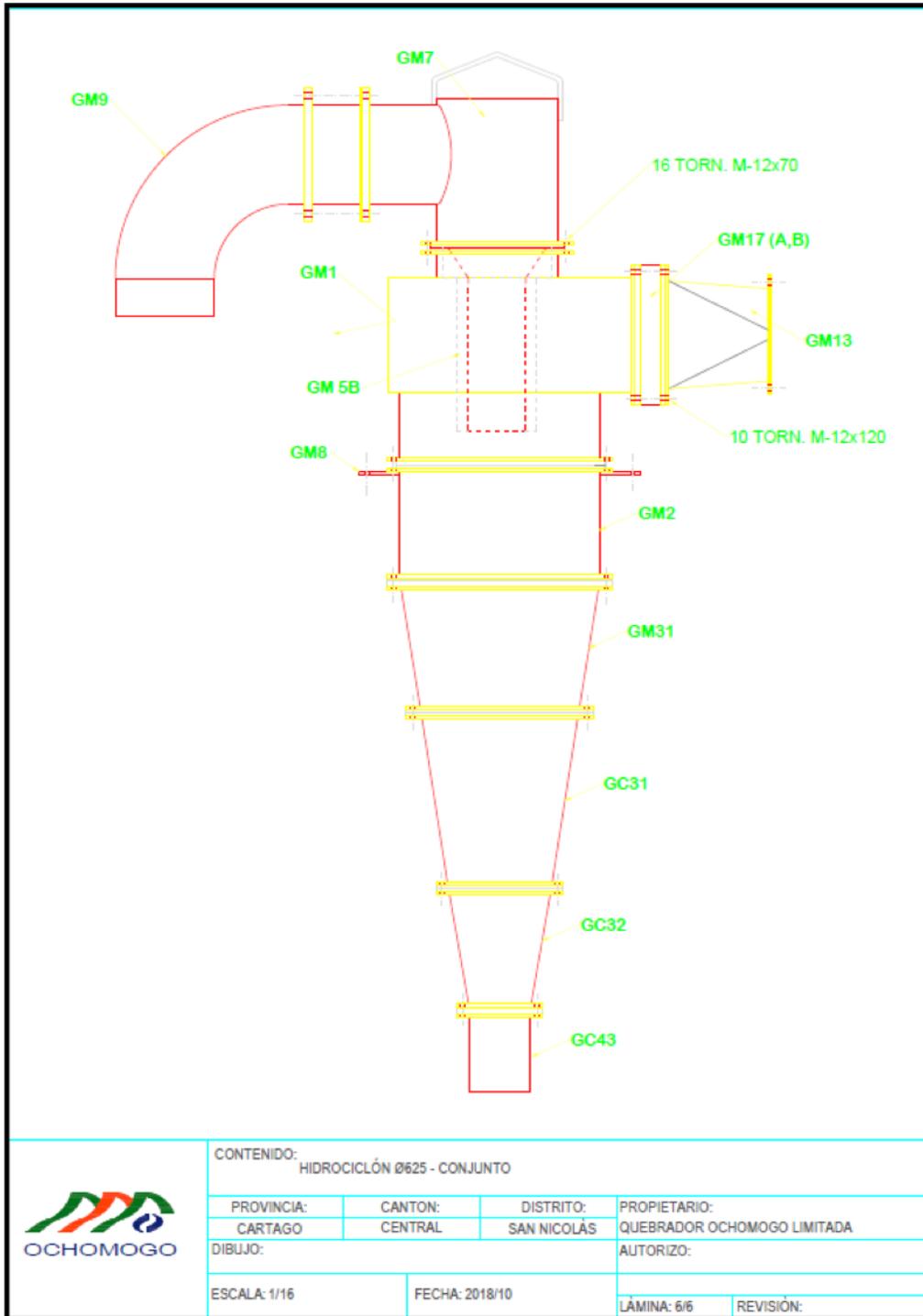


Ilustración 25. Conjunto del hidrociclón. Elaboración propia.

Anexos

Anexo1. Cotización manguera Contitech Bulcor y bridas de aluminio partidas

		Quotation - QT108615 Attn: <i>Milena Manosalva</i>		Page 1 of 1					
Ship From Location: 100 9415 - 189th St. GST 103867115 Surrey BC V4N 5L8 Phone: (804) 455-5400 Fax: (804) 455-5401			<table border="1"> <tr> <td>Quote Number QT108615</td> </tr> <tr> <td>Customer Reference #</td> </tr> <tr> <td>Quote Entered By Wayne Maure</td> </tr> <tr> <td>GST # R103867115 E&OE</td> </tr> </table>			Quote Number QT108615	Customer Reference #	Quote Entered By Wayne Maure	GST # R103867115 E&OE
Quote Number QT108615									
Customer Reference #									
Quote Entered By Wayne Maure									
GST # R103867115 E&OE									
Sold To: 980USDW50 La Murta S.A. REGION Phone: _____ GST/HST: N/A Out of Cou Fax: _____ PST: Tax: AR US Customer USA ship to GST, HST Exempt - US\$ Currency: USD			Ship To: La Murta S.A. Carretera a Llano Grande 1,5km norte del Colegio Seráfico. San Nicolas, Cartago Phone: _____ Fax: _____						
Quote Date Jul 30, 2018	Expiration Date Oct 30, 2018	Ship Via EX WORKS	Salescode L100	Customer Contact Milena Manosalva					
Comments: US FUNDS, PAYABLE BY WIRE TRANSFER EX WORKS VANCOUVER CANADA AVAILABLE FROM STOCK									
Item Number Description	Qty. Ordered	UOM	Unit Price	Extended Price					
NL8202-800 8" CONTITECH BLUCOR MATERIAL HANDLING 150 PSI	40.00	FT	61.20	2,448.00					
N8202C-800AL 8" ALUM BLUCOR SPLIT FLANGE MATERIAL HANDLING COUPLING ◀◀Ensure the hose is physically compatible with this brand	4.00	EA	290.35	1,161.40					
Industry Flows Through Us™			<table border="1"> <tr> <td>Tax Summary</td> <td></td> </tr> </table>		Tax Summary		Subtotal of Goods 3,609.40 Misc Charges 0.00 Total sales tax 0.00 Less Deposit 0.00 Total With Tax 3,609.40 Sub-Total of Goods USD 3,609.40		
Tax Summary									
Our detailed catalogue is available at www.new-line.com or if you would like a copy, just let us know! We carry extensive inventories of hose, fittings, and related components! Thank You for Your Business! Advise of any changes, questions, or comment We can also provide samples, detailed catalogue information, and helpful char or tips for better safetv & performance.									
WARRANTY DISCLAIMER & APPLICATION WARNING: Due to the critical nature of these items, we recommend the end use customer review specifications for suitability and test products prior to field use. No warranties for any specific length of time due to external factors, forces, applications, & installation. Refer to our Terms & Conditions Information.									

Anexos 2. Cotización variador de frecuencia Yaskawa.

<p>COMPAÑÍA: QUEBRADOR OCHOMOGO LTDA</p> <p>DIRECCIÓN: OCHOMOGO CARTAGO, COSTA RICA</p> <p>TELÉFONO: 2537-2523</p> <p>CONTACTO: HENRY UREÑA TELÉFONO: 2573 2523 EMAIL: HENRYRST@GMAIL.COM</p>	<p>COTIZACIÓN VCR: 0017135 FECHA: 01-08-2018</p> <p>VARIADORES DE COSTA RICA S.A. CÉD. JURÍDICA: 3-101-403199 (506) 2234-5702 • (506) 2234-5702 EXT 109</p> <p>COTIZA: KIMBERLY VANESSA HIDALGO VENDEDOR: LAURA NATALIA PEDRAZA TEL.: (506) 2234-5702 LPEDRAZA@VARIADORESDECOSTARICA.COM</p>												
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; width: 5%;">#</th> <th style="text-align: left; width: 15%;">REF</th> <th style="text-align: left; width: 60%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="text-align: right; width: 10%;">P. UNIT.</th> <th style="text-align: right; width: 10%;">CANT.</th> <th style="text-align: right; width: 10%;">TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CIMR-AU4A0103FAA</td> <td>VARIADOR YASKAWA FLUX VECTOR 103A. 75HP. 380-480V. ----- ULTIMA LINEA -----</td> <td style="text-align: right;">\$ 3.843,00</td> <td style="text-align: right;">1,00</td> <td style="text-align: right;">\$ 3.843,00</td> </tr> </tbody> </table>		#	REF	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.	CANT.	TOTAL	1	CIMR-AU4A0103FAA	VARIADOR YASKAWA FLUX VECTOR 103A. 75HP. 380-480V. ----- ULTIMA LINEA -----	\$ 3.843,00	1,00	\$ 3.843,00
#	REF	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.	CANT.	TOTAL								
1	CIMR-AU4A0103FAA	VARIADOR YASKAWA FLUX VECTOR 103A. 75HP. 380-480V. ----- ULTIMA LINEA -----	\$ 3.843,00	1,00	\$ 3.843,00								
<p>DETALLES:</p> <p>1. FORMA DE PAGO: CRÉDITO, 30 DÍAS FECHA DE LA FACTURA.</p> <p>2. VARIADORES DE COSTA RICA: 3-101-403199 BANCO NACIONAL 200-02-147-003068-4 CTA CLIENTE: 15114720020030682 DOLARES USD</p> <p>3. PRECIOS EN DÓLARES AMERICANOS O COLONES CRC AL TIPO DE CAMBIO DE VENTA DE LA FECHA DE PAGO.</p> <p>4. ENTREGA INMEDIATA EN SUS INSTALACIONES EN SAN JOSÉ</p> <p>5. GARANTÍA: 12 MESES</p> <p>6. SUJETO A DISPONIBILIDAD</p> <p>7. VIGENCIA: 30 DÍAS, A PARTIR DE LA FECHA DE COTIZACIÓN.</p>													
<table border="0" style="width: 50%;"> <tr> <td>SUBTOTAL:</td> <td style="text-align: right;">\$ 3.843,00</td> </tr> <tr> <td>IMP. DE VENTAS (13,00%):</td> <td style="text-align: right;">\$ 499,59</td> </tr> <tr> <td>TOTAL DOLARES USD:</td> <td style="text-align: right;">\$ 4.342,59</td> </tr> </table> <p style="margin-top: 10px;">APROBADO POR: DELFIRO PEDRAZA</p>		SUBTOTAL:	\$ 3.843,00	IMP. DE VENTAS (13,00%):	\$ 499,59	TOTAL DOLARES USD:	\$ 4.342,59						
SUBTOTAL:	\$ 3.843,00												
IMP. DE VENTAS (13,00%):	\$ 499,59												
TOTAL DOLARES USD:	\$ 4.342,59												
<p><small>CURRIDABAT, FRENTE AL RESTAURANTE PRINCESA MARINA - SAN JOSÉ, COSTA RICA. TEL.: (506) 2234-5702 - FAX: (506) 2234-5702 EXT 109 WWW.VARIADORESDECOSTARICA.COM</small></p>													